



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## GSM BRÁNA PRO PLC SYSTÉMY

GSM GATE FOR PLC SYSTEMS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karel Kadaňka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Knobloch, Ph.D.

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** Bc. Karel Kadaňka

**ID:** 164741

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## GSM brána pro PLC systémy

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Ze zvolených komponent sestavte prototyp zařízení.
2. Navrhněte a naprogramujte software prototypu a ověřte jeho funkci.
3. Navrhněte konkrétní schéma zapojení.
4. Navrhněte mechanickou konstrukci zařízení a desku plošných spojů.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] BRTNÍK, Bohumil a MATOUŠEK. Mikroprocesorová technika: Práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega A4. Praha: BEN-Technická literatura, 2011, 150 s. ISBN 978-80-7300-4.
- [2] DUNNING, Gary. Introduction to programmable logic controllers. 3rd ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2006, 628 s. ISBN 978-1401884260.
- [3] ORGOŇ, Miloš, Rastislav RÓKA a Jiří MIŠUREC. Smart Grids a komunikace PLC. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2015, 349 s. ISBN 978-80-227-4356-3.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 22.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Knobloch, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Diplomová práce popisuje návrh prototypu komunikačního modulu pro účely průmyslové automatizace, který je schopen prostřednictvím GSM sítě předávat krátké stavové zprávy informující o stavu připojeného zařízení na předdefinované telefonní číslo. V první části práce jsou popsány komunikační protokoly a je proveden průzkum trhu. Poté následuje vyhodnocení průzkumu trhu a odůvodnění konstrukce zařízení. Následující kapitoly jsou věnovány popisu vyvíjeného zařízení, jeho jednotlivým komponentám a popisu programu a testování.

## **Klíčová slova**

PLC, GSM brána, ATXmega128D3, Modbus, TCP/IP, AT příkazy, Reliance

## **Abstract**

The master's thesis describes the initial design of communication module for industrial automation purposes which can transmit short status messages via the GSM network informing about the status of the connected device to a predefined telephone number. In the first part, the communication protocols are describe and a market survey is carried out. Then follows the evaluation of the market survey and the justification of construction of the device. The following chapters are devoted to the description of the device being developed, its individual components and program description and testing prototype.

## **Keywords**

PLC, GSM gateway, ATXmega128D3, Modbus, TCP/IP, AT commands, Reliance

## **Bibliografická citace:**

*KADAŇKA, Karel. GSM brána pro PLC systémy. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116841>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Jan Knobloch.*

## Prohlášení

*„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma GSM brána pro PLC systémy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.*

*Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.*

V Brně dne: **22. 5. 2019**

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Knoblochovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále děkuji mému odbornému konzultantovi Ing. Ondřeji Blažkovi ze společnosti JarasServis s.r.o. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **22. 5. 2019**

.....

podpis autora

# Obsah

ÚVOD.....	1
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	2
1.1 Programovatelné automaty (PLC).....	2
1.2 GSM síť.....	3
1.3 Síťový model TCP/IP.....	4
1.3.1 Vrstva síťového rozhraní.....	4
1.3.2 Síťová vrstva.....	5
1.3.3 Transportní vrstva.....	5
1.3.4 Aplikační vrstva.....	5
1.3.5 Internetový protokol (IP).....	5
1.3.6 Protokol TCP.....	6
1.4 Komunikační protokol MODBUS.....	7
1.4.1 Aplikační protokol MODBUS.....	7
1.4.2 Datový model.....	8
2 PRŮZKUM TRHU.....	9
2.1 Rozdělení jednotlivých typů GSM bran.....	9
2.2 GSM relé.....	9
2.2.1 GSM RELÉ ESIM110.....	9
2.3 Signalizační GSM zařízení.....	11
2.3.1 GSM dálková signalizace/pager iQGSM-A1.....	11
2.4 GSM moduly pro PLC systémy.....	12
2.4.1 Programovatelné automaty s přístupem do sítě GSM.....	12
2.4.2 Přídavné moduly s přístupem do GSM sítě.....	13
2.5 Výsledek průzkumu trhu a zdůvodnění konstrukce zařízení.....	14
3 NÁVRH PROTOTYPU ZAŘÍZENÍ.....	15
3.1 Blokové schéma.....	15
3.2 Procesor ATXmega 128D3.....	16
3.3 Síťový ethernetový modul.....	17
3.3.1 Komunikace ethernetového modulu po sběrnici SPI.....	17
3.3.2 Komunikační SPI řetězec ethernetového modulu.....	17

3.4	GSM modul SIM800L .....	18
3.4.1	Normální operační režim modulu SIM800L .....	18
3.4.2	Režim Power down.....	19
3.4.3	Komunikační protokol UART .....	19
3.4.4	AT příkazy.....	20
3.5	Napájecí zdroj LOR4301-2 .....	20
4	SCHÉMA ZAPOJENÍ PROTOTYPU .....	21
4.1	Měnič snižující napětí LM2596 .....	21
4.2	Napájecí část s výstupním napětím 3,3 V .....	22
4.2.1	Vstupní kondenzátory měniče .....	22
4.2.2	Zachytávací dioda.....	23
4.2.3	Výstupní tlumivka .....	23
4.2.4	Výstupní kondenzátor.....	24
4.2.5	Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer .....	24
4.3	Napájecí část s výstupním napětím 4 V .....	25
4.3.1	Vstupní kondenzátory.....	26
4.3.2	Zachytávací dioda.....	26
4.3.3	Výstupní tlumivka .....	26
4.3.4	Výstupní kondenzátor.....	28
4.3.5	Zpětnovazební smyčka .....	28
4.3.6	Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer .....	28
4.4	Signálová část s procesorem .....	29
4.5	Návrh zapojení signalizační diody ZAP/VYP .....	30
4.6	USB/UART převodník.....	31
4.7	Výroba desek plošných spojů.....	31
5	MECHANICKÁ KONSTRUKCE PROTOTYPU.....	33
5.1	Volba konstrukční krabice .....	33
5.2	Rozmístění jednotlivých komponent prototypu .....	34
6	PROGRAMOVÁ ČÁST .....	35
6.1	Hlavní část programu main.c .....	35
6.2	Funkce pro ovládání komunikace po lince MODBUS.....	39
6.3	Funkce pro ovládání a nastavení USART jednotky .....	40



6.3.1	Funkce pro inicializaci USART jednotky .....	40
6.3.2	Funkce pro zápis dat na linku USART .....	40
6.4	Program a funkce pro ovládání modulu SIM800L.....	41
6.4.1	Funkce pro získání dat z modulu SIM800L .....	41
6.4.2	Funkce pro aktivování režimu odesílání SMS zpráv z modulu SIM800L .....	42
7	TESTOVÁNÍ PROTOTYPU .....	44
7.1	Systém Reliance .....	44
7.1.1	Základní popis vývojového prostředí Reliance Design.....	45
7.2	Vytvoření simulačního prostředí v Reliance Design.....	46
7.3	Obslužný uživatelský program GSM brány .....	48
7.4	Popis odzkoušení a testování prototypu .....	49
8	ZÁVĚR.....	51
	LITERATURA .....	52
	Seznam symbolů a zkratk.....	55

## Seznam obrázků

Obr. 1 Řídící systém SIMATIC S7-1500 [3].....	2
Obr. 2 Architektura GSM sítě [6] .....	3
Obr. 3 Rozdíl mezi síťovým modelem TCP/IP a ISO/OSI.....	4
Obr. 4 Formát IP datagramu (IPv4) [8] .....	6
Obr. 5 Příklady implementace MODBUS [12].....	7
Obr. 6 Základní tvar MODBUS zprávy.....	7
Obr. 7 Struktura zprávy MODBUS TCP .....	8
Obr. 8 GSM relé ESIM110 [14] .....	10
Obr. 9 Signalizační GSM zařízení iQGSM-A1 [16].....	11
Obr. 10 Programovatelný automat MCA46 [17] .....	12
Obr. 11 Modul UC-1205 [18] .....	13
Obr. 12 Blokové schéma prototypu GSM brány pro PLC systémy.....	15
Obr. 13 Procesor ATXMEGA 128D3 v pouzdru TQFP64 .....	16
Obr. 14 Síťový ethernetový modul ETH WIZ click [22] .....	17
Obr. 15 Komunikační SPI řetězec ethernetového modulu [21].....	18
Obr. 16 GSM modul SIM800L.....	18
Obr. 17 Komunikační rámec protokolu UART .....	19
Obr. 18 Napájecí zdroj LOR4301-2 [30].....	20
Obr. 19 Rozložení pinů LM2596 s pouzdrum TO263-5 [31].....	21
Obr. 20 Schéma zapojení měniče LM2596 o výstupním napětí 3,3 V .....	22
Obr. 21 Graf závislosti proudu zátěže na maximálním vstupním napětí [31] .....	24
Obr. 22 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer .....	25
Obr. 23 Schéma zapojení měniče LM2596 o výstupním napětí 3,3 V .....	25
Obr. 24 Graf závislosti proudu zátěže na konstantě E.T [31].....	27
Obr. 25 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer .....	29
Obr. 26 Schéma zapojení signalizační diody ZAP/VYP .....	30
Obr. 27 USB/UART převodník s čipem CP2102 STC [32] .....	31
Obr. 28 Neosazené desky plošných spojů .....	32
Obr. 29 Krabice prototypu GSM brány s typovým označením D4MG.....	33
Obr. 30 Rozmístění komponent v krabici D4MG.....	34

Obr. 31 Vývojový diagram hlavního programu main.c .....	38
Obr. 32 Vývojový diagram funkce pro ovládání komunikace protokolem MODBUS .....	39
Obr. 33 Vývojový diagram funkce pro aktivování režimu odesílání SMS zpráv .....	43
Obr. 34 Základní přístrojová lišta Reliance Design .....	45
Obr. 35 Vizualizační okno návrhu simulačního prostředí .....	46
Obr. 36 Spuštěné simulační prostředí v systému Reliance .....	47
Obr. 37 Obslužný program GSM brány pro PLC systémy .....	48
Obr. 38 Nadefinovaný obslužný program GSM brány .....	49
Obr. 39 Screenshot obrazovky mobilního telefonu se stavovým hlášením .....	50

## Seznam tabulek

Tab. 1 Popis prvků IP datagramu [8] .....	6
Tab. 2 Datový model MODBUS [12].....	8
Tab. 3 Elektrické a mechanické parametry ESIM110 [14].....	10
Tab. 4 Elektrické a mechanické parametry iQGSM-A1[15] .....	11
Tab. 5 Elektrické a mechanické parametry modulu UC-1205 [19].....	14
Tab. 6 Soupis běžných AT příkazů [29] .....	20
Tab. 7 Hodnoty pro výpočet konstanty volt sekundové rovnováhy .....	27
Tab. 8 Rozložení pinů na portu D procesoru ATXMEGA 128D3 .....	29
Tab. 9 Seznam proměnných v simulačním systému Reliance .....	47

# ÚVOD

Programovatelné logické automaty (PLC) sloužící k automatickému ovládání aplikací a řízení procesů jsou v dnešní digitální moderní době velice známá elektronická zařízení. I když si to neuvědomujeme, přicházíme s nimi do styku dennodenně. Dříve byly součástí především automatizace v průmyslu, ale dnes je můžeme najít třeba i v domácnostech.

Pro laika se PLC mohou jevit jako blikající krabičky propojené změtí drátů a kabelů. Ale pod touto skořápkou se nachází samostatný propojený svět, kde v jedné vteřině probíhá nepředstavitelné množství dat, informací a řídicích povelů. Celý systém je pak ovládán automatickým programem.

I když chod např. celé továrny řídí počítač umístěný v malé krabičce, je třeba mít na paměti, že se jedná zatím pouze o stroj, který splní to, co se mu řekne. I přes snahu implementace všemožných bezpečnostních opatření, se kdykoliv může něco pokazit.

Hitem dnešní doby je bezdrátová komunikace. Mobilní telefon se stal naší každodenní součástí. Jak bylo řečeno výše, je fantastické, že továrnu řídí programovatelný logický automat, ale člověk je člověk. Proto je třeba aby na chod programu sem tam dohlédla lidská mysl.

Jsme jen lidé a nemůžeme být na více místech zároveň. Nicméně dnešní moderní doba nám umožňuje díky mobilní GSM síti být pořád ve spojení se všemi, a dokonce i se vším. Proto výrobci programovatelných automatů začali vyrábět různé GSM moduly, které je možno připojit k programovatelným automatům.

Obchodní trh nabízí nepřehledné množství různých druhů GSM zařízení a modulů, ale ne vždy se hodí do vyvíjené aplikace. Buď se jedná o moc jednoduché zařízení nebo o komplikované zařízení se zbytečnými vlastnostmi. Cílem diplomové práce je navrhnout prototyp, který bude jakousi střední cestou ve vývoji komunikační GSM brány.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato kapitola v první části seznamuje čtenáře se základními funkcemi a stručným popisem programovatelných automatů. V další části je popsána architektura a stručný popis GSM sítě. V následujících částech kapitoly jsou popsány komunikační protokoly TCP/IP a MODBUS.

## 1.1 Programovatelné automaty (PLC)

Programovatelné automaty neboli PLC systémy z anglického Programmable Logic Controller jsou v dnešní době nejrozšířenějším nástrojem pro automatické měření a regulace různorodých aplikací a procesů. Nejčastěji se tyto PLC systémy nacházejí v průmyslovém odvětví. Díky své kompaktnosti a modulárnosti nahradily staré již nevyhovující počítačové systémy. [1], [2]

Jak bylo řečeno výše, hlavní výhodou PLC systémů je jejich kompaktnost a modulárnost. Systém vždy představuje několik vzájemně propojených bloků, nejčastěji umístěných v rozvaděčové skříni, z nichž každý plní určitou funkci. Prvním blokem je vždy blok napájecí. Ten zajišťuje distribuci elektrické energie k dalším prvkům systému nebo k připojeným zařízením. [1], [2]

Dalším hlavním prvkem je modul s řídicím procesorem, který zajišťuje chod a řízení dané aplikace. Modul obsahuje několik rozhraní, díky kterým může komunikovat. Nejčastěji je využívána komunikace MODBUS. Další užitečnou vlastností modulu s řídicím procesorem je přítomnost tzv. web serveru, díky němuž lze celý systém ovládat pomocí ethernetové sítě. [1], [2]

Aby se vůbec dalo cokoli měřit, regulovat apod., je třeba připojit do systému další prvky, které budou tyto funkce zprostředkovávat. Jsou to tzv. I/O moduly neboli vstupně výstupní moduly. K nim se již připojují konkrétní senzory na měření teploty, tlaku, průtoku atd. Tyto moduly se nazývají analogové. Dále rozlišujeme moduly digitální. Ty slouží ke sběru informací typu zapnuto, vypnuto nebo k dálkovému spínání např. relátk. [1], [2]

Problematika PLC systémů je velice rozsáhlá a komplikovaná. Nicméně v dalších kapitolách budou popsány další využívané periférie a funkce PLC využité v diplomové práci.



Obr. 1 Řídicí systém SIMATIC S7-1500 [3]

## 1.2 GSM síť

GSM (Global System for Mobile Communications) síť patří do tzv. buňkových radiotelefonních systémů. GSM síť neboli GSM standart byl vyvinut Evropským institutem pro telekomunikační standardy (ETSI). Buňkový systém v sobě skýtá řadu výhod, jako jsou: velký počet uživatelů, efektivní využití spektra, vysoká kvalita telefonních i datových služeb.

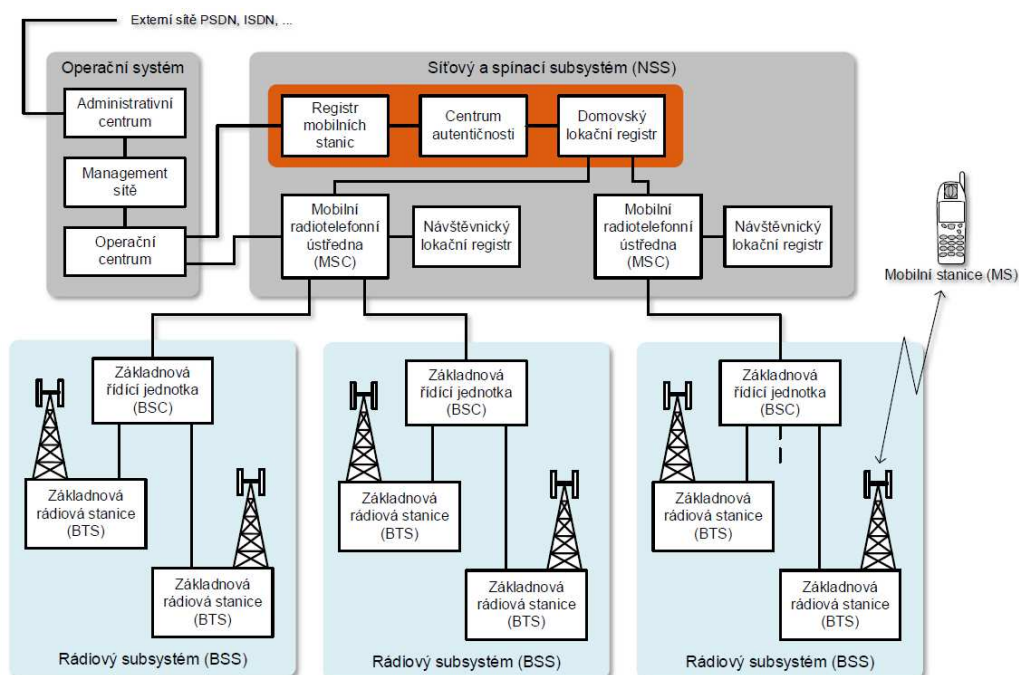
GSM síť lze rozdělit do následující hierarchické struktury:

- Síť rádiových stanic, které tvoří subsystém základnových stanic (BTS)
- Hlavní síťový a spínací subsystém s přepojováním okruhů z jednotlivých subsystémů
- Operační centrum

Základnové stanice jsou koncové vysílače, které komunikují s mobilním telefonem. Hlavní síť s přepojováním okruhů pak přepíná hovory do jiných ústředěn sítě nebo do ústředěn sítí jiných operátorů.

GSM síť by se dala popsat tzv. buněčnou strukturou, kde jednotlivá buněčná struktura je definována tvarem, který připomíná včelí plástev. V každé buňce je jedna BTS s předem definovaným dosahem. I když se uvádí, že GSM pásmo je v rozmezí 900 - 1800 MHz, tak ve skutečnosti se jedná o pásma, v nichž existují další kanály o šířce 200 kHz. Každý z těchto kanálů může v jednu chvíli obsloužit až osm účastníků. [4], [5]

Zdá se, že obsloužit osm účastníků najednou je nereálné, ale řešení je prosté. Každý kanál v rozmezí 900–1800 MHz je rozdělen na časové úseky (time slots) z nichž každý reprezentuje jeden hovor. Jednotlivé telefony se v komunikaci s vysílačem postupně střídají. Každý z nich má možnost komunikovat jen velice krátkou dobu, uvádí se 0,5 ms. Těchto cyklů je za sekundu uskutečněno více než dvě stě. [4], [5]



Obr. 2 Architektura GSM sítě [6]

### 1.3 Síťový model TCP/IP

Jak název napovídá, jedná se o sadu dvou internetových protokolů používaných v počítačových sítích a na internetu. Je složen z protokolu TCP (Transmission Control Protocol) a IP (Internetový protokol).

Vznik protokolu TCP/IP je datován na konec 60. let. Vznik je spojen s činností účelové agentury ARPA (Advanced Research Projects Agency) ministerstva obrany USA, které si nechalo protokoly vyvinout pro svou vlastní počítačovou síť ARPANET. Síťový model TCP/IP nikterak nezávisí na přenosovém médiu. Lze jej uplatnit v sítích WAN, LAN, v sériových linkách, koaxiálních kabelech, a také jel lze uplatnit ve vysokorychlostní optické síti. [7], [8], [9]

Architektura TCP/IP rozděluje komunikaci do jednotlivých aplikačních vrstev. Oproti referenčnímu modelu ISO/OSI, který má sedm aplikačních vrstev, má síťový model TCP/IP jen čtyři aplikační vrstvy. Zmenšení počtu vrstev má za následek zmenšení složitosti síťového modelu. [7], [8], [9]



Obr. 3 Rozdíl mezi síťovým modelem TCP/IP a ISO/OSI

#### 1.3.1 Vrstva síťového rozhraní

Vrstva síťového rozhraní je v architektuře TCP/IP nejnižší vrstvou. Tato vrstva přímo umožňuje přístup k fyzickému přenosovému médiu. Vrstva není v rámci síťového modelu TCP/IP blíže specifikována, a tudíž pro ni neexistují žádné protokoly. Vrstva síťového rozhraní se stará o ovládání konkrétní přenosové cesty. Přenosová cesta slouží pak pro přenos bloků dat (rámců) např. mezi dvěma počítači.

V rámci celé soustavy TCP/IP je tato vrstva specifická pro každou síť, jelikož závisí na použité přenosové technologii. [7], [8], [9]



### 1.3.2 Síťová vrstva

Síťová vrstva neboli vrstva vzájemného propojení sítí, již nezávisí na použití přenosové technologie. Její funkce je dosti podobná předchozí síťové vrstvě, ale zde je realizována protokolem IP. [7], [8], [9]

Hlavním úkolem síťové vrstvy je hledat cestu pro bloky dat, které jsou zde již označovány jako pakety. Síťová vrstva hledá nejvhodnější cestu paketu od svého odesílatele až ke svému adresátovi. Hledání nejvhodnější cesty má své klady a zápory. Kladem je, že přenos dat je velice rychlý. Ale rychlost má za následek horší spolehlivost. [7], [8], [9]

### 1.3.3 Transportní vrstva

Třetí vrstvou síťového modelu TCP/IP je transportní vrstva, nebo též TCP vrstva, neboť je realizována právě protokolem TCP. Vrstva se nevyskytuje na síťových uzlech, ale je implementována až v koncovém zařízení. [7], [8], [9]

Hlavním úkolem této vrstvy je již zajištění přenosu dat mezi dvěma koncovými účastníky. Za koncové účastníky lze považovat např. dva aplikační programy.

Transportní vrstva dokáže přizpůsobit chování sítě potřebám aplikace. Podle náročnosti aplikací dokáže transportní vrstva regulovat tok dat mezi oběma směry a zajišťovat spolehlivost přenosu. Dále dokáže měnit nespojovaný charakter přenosu na spojovaný. [7], [8], [9]

### 1.3.4 Aplikační vrstva

Poslední a nejvyšší vrstvou je vrstva aplikační neboli vrstva aplikací. Zde jsou jako entity uvažovány již konkrétní programy (procesy), které zajišťují konkrétní služby pro připojené uživatele v síti. Za služby je zde považována elektronická pošta, vzdálený přenos dat a vzdálené přihlašování. Postupem času se rozsah služeb zvětšil. V dnešní době lze za další služby považovat správu sítě, sdílení a zpřístupnění informací a sdílení souborů. [7], [8], [9]

V předchozích vrstvách byl využíván protokol TCP a protokol IP. V aplikační vrstvě je využívána celá škála protokolů. Jedná se o protokoly, http, HTTPS, IMAP, POP3, DHCP a jiné. [7], [8], [9]

### 1.3.5 Internetový protokol (IP)

Jedná se dnes o základní univerzální přenosový protokol. Jak název napovídá, jde o internetový protokol využívaný na celosvětové síti Internet. Jde o soubor pravidel popisující přenos dat prostřednictvím sítě. IP protokol pracuje na druhé síťové vrstvě podle rozložení síťového modelu TCP/IP. [8], [9]

I když se jedná o komunikační protokol, tak většina uživatelů se s ním dnes setkává v podobě tzv. IP adresy. IP adresa slouží pro směrování dat v síťové vrstvě. Jako první vznikla verze IPv4. Ta má 32bitové adresy a poskytuje až 4 miliardy adres. Jelikož se počet uživatelů neustále zvětšuje, bylo třeba navýšit počet adres.

To zajistila verze IPv6, která využívá 128bitové adresy, což v sobě nese až 340 sextiliónů možných adres. [8], [10]

Hlavní funkcí internetového protokolu je vysílání tzv. IP datagramů na základě síťových IP adres, které jsou obsaženy v záhlaví každého datagramu. Každý paket obsahuje hlavičku, v níž jsou uloženy řídicí informace a pak následují vlastní přenášená data. Formát datagramu je zobrazen na následujícím obrázku. [8]

Verze	Délka hlavičky	TOS, QoS	Celková délka	Identifikace	Příznaky	TTL	Protokol	Kontrolní součet hlavičky
Adresa odesílatele		Adresa příjemce		Volby	Výplň		Data	

Obr. 4 Formát IP datagramu (IPv4) [8]

Hlavička IP datagramu má 0–23 bajtů, za hlavičkou následuje již datová část paketu. Popis jednotlivých prvků v IP datagramu je znázorněn v následující tabulce.

Tab. 1 Popis prvků IP datagramu [8]

Údaje hlavičky IP datagramu	Popis
Verze	Použitá verze (IPv4 nebo IPv6)
TOS, QoS	Třída provozu, požadavky na přenos
Identifikace	Jednoznačné určení paketu při fragmentaci
Příznaky	Řízení fragmentace
Offset	Pozice fragmentu v původním paketu
TTL	Time To Live – položka bránící zacyklení paketu
Protokol	Číslo protokolu
Kontrolní součet	Pokud nesouhlasí, je paket zahozen
Volby	Doplňující informace a požadavky

### 1.3.6 Protokol TCP

Protokol TCP (Transmission Control Protocol) je základním protokolem v transportní vrstvě. Díky protokolu TCP mohou aplikace připojené do sítě mezi sebou navázat spojení, které nadále využijí k obousměrnému přenosu dat. [8], [11]

Jelikož se jedná o transportní protokol, tak garantuje spolehlivé doručení dat od odesílatele k příjemci, a to i ve správném uspořádání dat. Protokol navíc dokáže rozlišit různé aplikace na stejném zařízení (např. email, webový server, aj.). [8], [11]

K posílání paketů využívá nespolehlivý protokol IP. Ke spolehlivosti doručení paketu využívá tzv. kladné potvrzování, což je informace o úspěšném příjmu datového paketu. Na chybně přijatá data nereaguje. [8], [11]

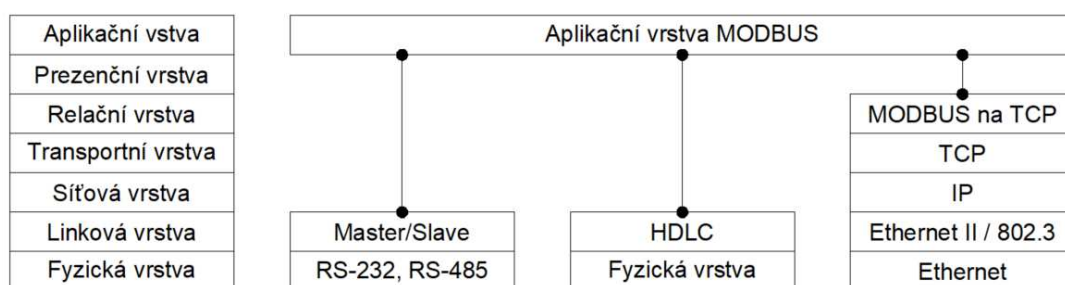
Jak bylo řečeno výše, protokol TCP umí rozlišit různé aplikace. K tomu se využívá tzv. portů. Port představuje 16bitové číslo, které určuje, které konkrétní aplikaci jsou data určena. Čísla portů jsou v rozmezí 0–65535. Porty s označením 0-1023 jsou zarezervovány pro všeobecně známé porty. Jde o porty standartních síťových aplikací. [8], [11]

## 1.4 Komunikační protokol MODBUS

Komunikační protokol MODBUS je otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci na úrovni aplikační vrstvy v modelu ISO/OSI. Komunikační protokol MODBUS byl vyvinut firmou Modicon v roce 1979.

Protokol je převážně používán v průmyslových aplikacích. Slouží např. k ovládání PLC, dotykových displejů, I/O zařízení apod. [12], [13]

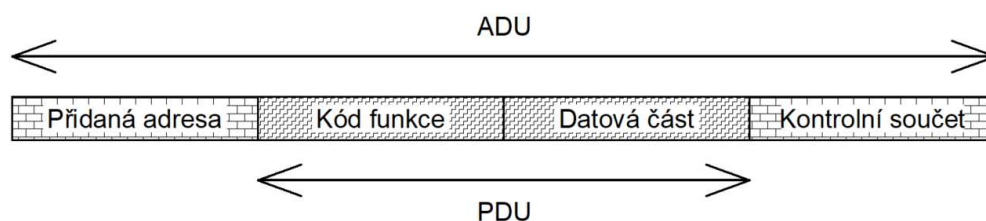
Protokol MODBUS funguje na principu předávání datových zpráv mezi klientem, označovaným jako master, a serverem, označovaným jako slave, v různých typech sítí a po různých sběrnicích. (RS-232, Ethernet, TCP/IP, optické i radiové sítě). Komunikace probíhá metodou požadavek – odpověď. [12], [13]



Obr. 5 Příklady implementace MODBUS [12]

### 1.4.1 Aplikační protokol MODBUS

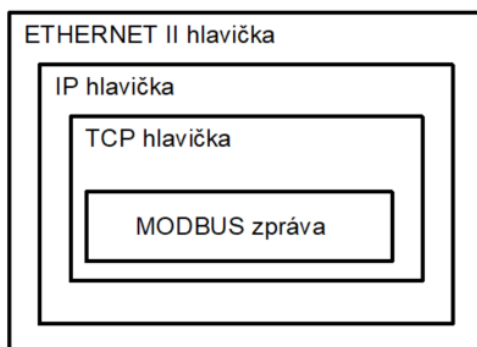
Základní přenosovou jednotkou protokolu MODBUS je tzv. PDU zpráva (Protocol Data Unit) na úrovni aplikační vrstvy modelu ISO/OSI. PDU zpráva má velikost 253 bajtů. Tato velikost není striktní. Může se měnit v závislosti na typu použité sítě. V tomto případě je pak PDU doplněna o další části a stává se z ní zpráva na aplikační úrovni s označením ADU. (Application Data Unit) [12], [13]



Obr. 6 Základní tvar MODBUS zprávy

Přidání doplňkových částí však k odeslání zprávy nestačí. Zprávu je nutno před odesláním zapouzdřit a zejména je třeba jednoznačně určit příjemce zprávy. Tzn. určit zařízení protistrany a jeho aplikaci pro kterou je tato zpráva určena. [12], [13]

Pro příklad uveďme odeslání zprávy na ethernet. Před odesláním je nutné zprávu opatřit dalšími informacemi. TCP vrstva neboli transportní vrstva doplní číslo zdrojového portu a číslo cílového portu. IP vrstva neboli síťová vrstva přidá zdrojovou a cílovou IP adresu. Ethernet II vrstva neboli vrstva síťového rozhraní přidá zdrojovou a cílovou MAC adresu. Výsledná délka odesílaného rámce je pak daleko větší než základní tvar MODBUS rámce. [12], [13]



Obr. 7 Struktura zprávy MODBUS TCP

## 1.4.2 Datový model

Komunikační protokol MODBUS pracuje se čtyřmi typy datových proměnných. Každé proměnné je přiděleno číslo registru. Datový model je založen na sadě tabulek. Viz tabulka níže. [13]

Tab. 2 Datový model MODBUS [12]

Primární oblast	Typ objektu	Typ přístupu	Popis
Diskrétní vstupy (Discrete Inputs)	1-bit	Pouze čtení	Jeden bit určený pouze ke čtení. Data poskytnutá I/O systémem. Např. binární vstup (ZAP/VYP)
Cívky (Coils)	1-bit	Čtení i zápis	Jeden bit určený pro čtení a zápis. Data modifikovaná aplikačním programem. Např. cívka, relé
Vstupní registry (Input Registers)	16-bitové slovo	Pouze čtení	16bitový registr určený pouze pro čtení Data poskytnutá I/O systémem Např. analogový vstup
Uchovávací registry (Holding Registers)	16-bitové slovo	Čtení i zápis	16bitový registr určený pro čtení i zápis Data modifikovaná aplikačním programem Např. čítač

## 2 PRŮZKUM TRHU

Kapitola se zabývá průzkumem trhu a nepoužívanějšími typy různých GSM bran. Na začátku kapitoly jsou GSM zařízení rozdělena do základních kategorií a ke každé kategorii je uveden jeden výrobek z trhu. V závěru kapitoly je zdůvodněna konstrukce a návrh vyvíjeného zařízení.

### 2.1 Rozdělení jednotlivých typů GSM bran

Obchodní trh je plný různorodých typů GSM zařízení od všemožných výrobců. Každé zařízení má své specifické vlastnosti, funkce a úskalí. Globálním problémem všech zařízení je kompatibilita s různými PLC systémy. Jak bylo řečeno v první kapitole, PLC systém je soubor modulárních přístrojů. Přední výrobci PLC systémů dodávají ke svým systémům také moduly schopné komunikovat v GSM síti. Ale pokud bychom chtěli použít PLC systém od jistého výrobce, není jisté, zda bychom k němu mohli připojit a zprovoznit GSM modul od jiného výrobce.

GSM brány by se daly rozdělit do tří základních kategorií:

- GSM relé
- Signalizační GSM brána
- GSM moduly pro PLC systémy

### 2.2 GSM relé

GSM relé neboli dálkový ovladač je jedním z nejjednodušších GSM zařízení. Na trhu je těchto typů GSM relé nepřeberné množství. Nejčastěji se používá pro ovládání vjezdových mechanismů (brány, závory) nebo k zapínání a vypínání elektrických spotřebičů.

I když se jimi obchodní trh jen hemží, a nabízí různé druhy, všechny tyto zařízení pracují na dosti podobném principu. Zařízení jsou ovládána telefonním hovorem. V praxi to znamená, že pokud chceme např. otevřít zmíněnou závoru, vytočíme telefonní číslo, které má toto relé přiděleno v GSM síti. Jakmile zařízení detekuje příchozí hovor, vnitřní systém vyhodnotí, zda je volané číslo v databázi. Pokud se volané číslo nachází v databázi, zařízení hovor odmítne a sepne na nastavenou dobu výstupní spínací relé ovládacího mechanismu, které zajistí např. otevření brány. Jelikož zařízení hovor odmítne, tak volajícímu není inkasován poplatek za hovor. Pokud se volané číslo v databázi zařízení nevyskytuje, hovor je taktéž odmítnut, ale spínací relé nesepe ovládací mechanismus. Velkou výhodou těchto zařízení je jejich jednoduchost a také možnost nastavení spínání podle jistého plánu. Např. přes den budou zmíněná vrata otevřená, a třeba po dvacáté hodině se automaticky zavřou. [14]

#### 2.2.1 GSM RELÉ ESIM110

ESIM110 je GSM relé pro ovládání vrat, závor, aj. elektrických zařízení od společnosti Eldes. Princip funkce zařízení je popsán v kapitole 3.2.

Zařízení ESIM110 má tyto základní vlastnosti: [převzato z 14]

- Ruční ovládání přístupu zdarma pomocí prozvonění
- Automatické ovládání přístupu v závislosti na naprogramování interního plánovače
- Možnost nastavení délky trvání pulsu (aktivace relé)
- Automatická synchronizace data a času
- Až 5 administrátorů, kteří mohou konfigurovat systém pomocí SMS zpráv
- Kapacita databáze až na 500 uživatelů
- Paměť na 1000 událostí, které obsahují datum, čas a telefonní číslo uživatele, který aktivoval zařízení

Následující tabulka shrnuje technické specifikace GSM relé ESIM110:

Tab. 3 Elektrické a mechanické parametry ESIM110 [14]

Napájecí napětí	10-24V 50Hz ~ 200mA
Proudový odběr v klidovém stavu	max. 50mA
Počet výstupů:	1 (ESIM110); 2(ESIM120)
Typ výstupu:	Relé; NO nebo NC
Mezní hodnoty kontaktů výstupního relé	24V 50Hz~ 0,5A
Počet vstupů ovládaných úrovní "low"	2
Počet vstupů ovládaných úrovní "high"	1
Dovolený interval napětí úrovně "low"vstupu	0-16V
Dovolený interval napětí úrovně "high" vstupu	5-50V
Typ "low" a "high" vstupů	NO (v klidu otevřeno)
Rozměry	63x82x17mm
Povolená okolní provozní teplota	-20 až 50°C
Povolená okolní vlhkost	0-90% RH



Obr. 8 GSM relé ESIM110 [14]

## 2.3 Signalizační GSM zařízení

Jak název napovídá další skupinou jsou signalizační dálková GSM zařízení. Oproti předchozím GSM relé, kde uživatel kontaktoval zařízení, tak v tomto případě zařízení kontaktuje uživatele. Nejčastěji se jedná o zabezpečovací nebo signalizační zařízení.

Fungují na velice jednoduchém principu. K signalizačnímu zařízení je připojeno např. pohybové čidlo, čidlo překročení teploty apod. Jakmile signalizační GSM zařízení zaznamená na svém vstupu nastavenou změnu, ihned odešle varovnou SMS zprávu nebo zavolá na přednastavená telefonní čísla.

### 2.3.1 GSM dálková signalizace/pager iQGSM-A1

GSM dálková signalizace iQSGSM-A1 je univerzální hlásič s nastavitelnou reakcí vstupu od české firmy TFE elektronika. Jak bylo řečeno výše, zařízení reaguje na změnu stavu na vstupu zařízení. Aby byla zachována univerzálnost pro připojení libovolných vstupních zařízení, je vstup galvanicky oddělen optočlenem. Vstup je možno nakonfigurovat dle libosti. Např. spojení smyčky (přivedení napětí), odpojení smyčky (odpojení napětí) nebo je možná kombinace obou předchozích případů. [15]

Jakémukoliv stavu je možno přiřadit SMS zprávu s libovolným textem, nastavení zpoždění na vstupu (doba volání), a lze také nastavit blokovací čas, aby v případě nestabilního vstupu nedocházelo k opakovanému odesílání SMS zpráv a volání. [15]

Tab. 4 Elektrické a mechanické parametry iQGSM-A1[15]

Napájecí napětí	10-24V DC
Proudový odběr v klidovém stavu	cca 20mA, při aktivaci cca 150mA
Počet výstupů:	1 (ESIM110); 2(ESIM120)
Vstup	Galvanicky oddělený, 10-24V DC
GSM pásmo	850/900/1800/1900 MHz
SIM karta	Standartní velikost 15x25mm, libovolný operátor
Počet čísel	6
Svorkovnice	Šroubovací, 4 piny, průřez 0,35-1,5mm <sup>2</sup>
Anténní konektor	SMA (female), 50 Ω, čtyřpásmová GSM anténa
Pracovní teplota	-20 až 50°C
Stupeň krytí	IP50
Rozměry	66x60x16 mm



Obr. 9 Signalizační GSM zařízení iQGSM-A1 [16]

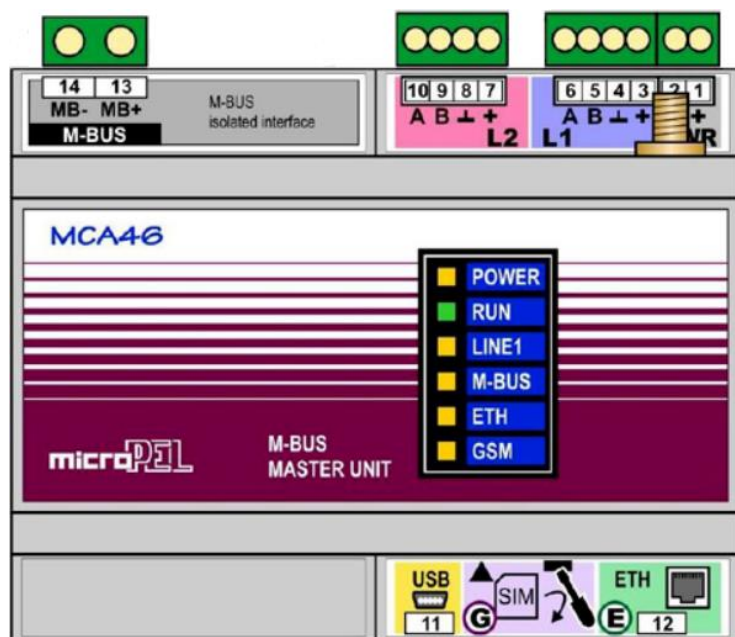
## 2.4 GSM moduly pro PLC systémy

Třetím a posledním typem GSM bran jsou moduly pro systémy ovládané PLC. Jak bylo řečeno na začátku kapitoly, zásadním problémem těchto modulů je kompatibilitnost s dalšími moduly od různých dodavatelů PLC. Nicméně se najdou i výjimky, které jsou schopny tento nedostatek odstranit.

Samotné GSM moduly by se daly ještě rozdělit na další dvě podkategorie. Na samostatné programovatelné automaty s možností přístupu do sítě GSM, a na přídatné moduly, které jsou připojeny k řídicí jednotce a zprostředkovávají přenos dat do sítě GSM.

### 2.4.1 Programovatelné automaty s přístupem do sítě GSM

Tyto zařízení plní hned dvě podstatné funkce. Lze je využít jako hlavní řídicí jednotku a zároveň slouží jako komunikátory po síti GSM. Mezi hlavní kandidáty těchto programovatelných automatů patří Komunikační PLC MCA46 od společnosti MICROPEL s.r.o. V podstatě jde o volně programovatelnou PLC jednotku s rozšířenými komunikačními možnostmi.



Obr. 10 Programovatelný automat MCA46 [17]

Komunikátor je vybaven řadou užitečných portů a možností připojení. Za zmínku stojí USB port pro jednoduché programování, nastavování funkcí komunikátoru a ladění automatů. Dále je zde přítomna linka pro připojení RS485 pro různé komunikační protokoly (MODBUS, UART), komunikační rozhraní ETHERNET. A samozřejmě možnost připojení do sítě GSM. Velkou výhodou programovatelného automatu MCA46



je, že umožňuje výměnu dat mezi automaty, které jsou lokalizovány v různých sítích automatů. [17]

Díky své všestrannosti lze komunikátor použít pro řadu aplikací. Uvedme několik základních aplikačních použití. Prvním použitím je realizace povelové a informační SMS brány. Druhým použitím je již zmíněná výměna dat mezi automaty lokalizovaných v různých sítích automatů. A třetí aplikační použití jako automat zařízení MODBUS RTU MASTER. Automat MCA46 je naprogramován pomocí knihovny modbus. Funguje jako master, což znamená že může rychle zpracovávat stavy z I/O periférií. [17]

## 2.4.2 Přídavné moduly s přístupem do GSM sítě

Jak název napovídá, jedná se o samostatné moduly, které zprostředkovávají komunikaci po síti GSM. V tomto případě se jako hlavní kandidát jeví univerzální komunikační GSM modul UC-1205 od společnosti Tecomat Foxtrot. Oproti předchozímu programovatelnému automatu, který umožňoval propojení automatů lokalizovaných v různých sítích, tak tento modul je kompatibilní pouze s řídicím systémem Tecomat Foxtrot.



Obr. 11 Modul UC-1205 [18]

Modul čili GSM modem slouží převážně k ovládání řídicího systému Tecomat Foxtrot. Díky tomuto modulu lze systém ovládat pomocí povelů zaslaných SMS zprávami. Modul zprostředkovává i opačný tok dat, kdy je třeba vyčítat informace a události z řídicího systému. Modul lze taktéž využít jako modem a lze jej řídit pomocí AT příkazů. Modul je opatřen konektorem SMA pro připojení antény. Jako komunikační rozhraní je u modulu použito RS-232. [19]

Tab. 5 Elektrické a mechanické parametry modulu UC-1205 [19]

Napájecí napětí	24V DC
Příkon (po dobu vysílání)	6W
GSM pásmo	850/900/1800/1900 MHz
Anténní konektor	SMA (female), 50 $\Omega$ , čtyřpásmová GSM anténa
Typ použitého GSM modemu	MC55i
Pracovní teplota	-20 až +55°C
Stupeň krytí	IP20
Připojení	Šroubové svorky
Rozměry	66x60x16 mm

## 2.5 Výsledek průzkumu trhu a zdůvodnění konstrukce zařízení

Průzkum trhu přinesl zajímavé poznatky. Ukázalo se, že trh nabízí rozmanitou škálu GSM bran. Od jednoduchých zařízení až po složité programovatelné automaty s přístupem do GSM sítě.

Nicméně jednoduché GSM brány nevyhovují požadavkům vyvíjeného zařízení a programovatelné automaty s přístupem do GSM sítě v sobě skrývají úskalí v podobě složitosti a nadbytečných funkcí.

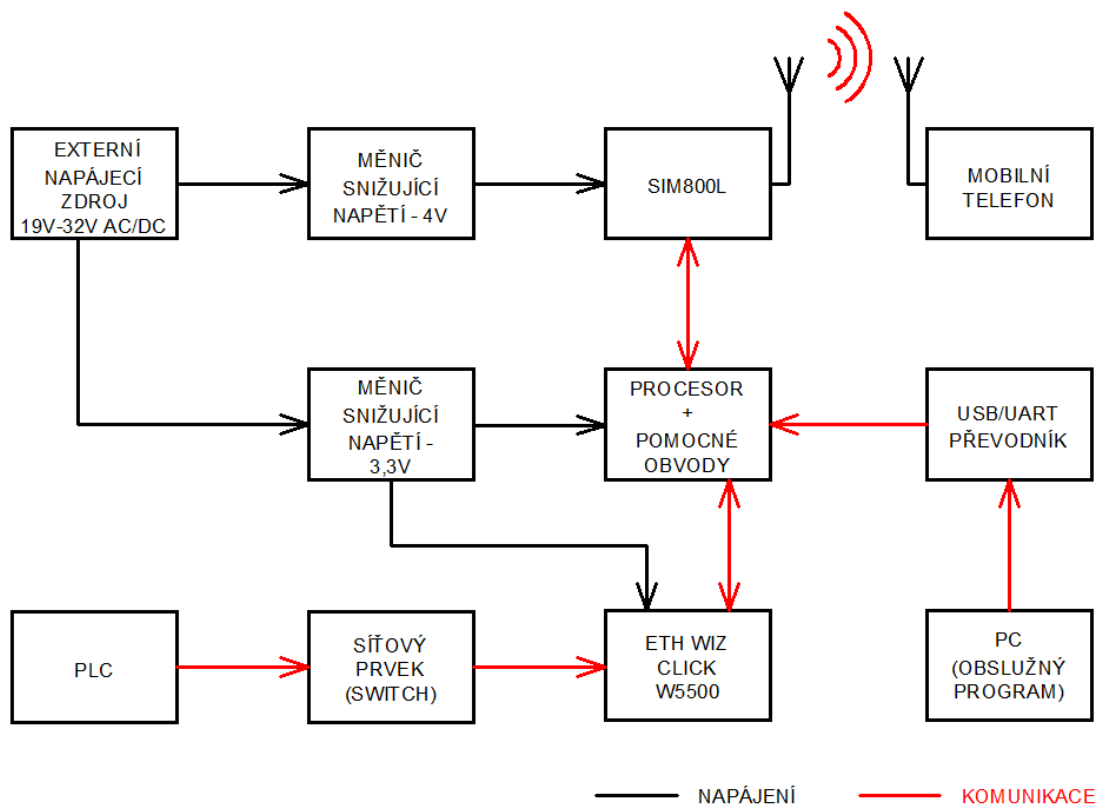
Cílem diplomové práce je navrhnout prototyp komunikačního modulu pro účely průmyslové automatizace, který bude prostřednictvím GSM sítě na předem definovaná čísla předávat krátké stavové zprávy informující o stavu zařízení připojených k řídicímu systému. Může jít např. o zprávy informující o překročení teploty určitého zařízení, vybavení jističů, pojistek apod. Modul bude připojen pomocí ethernetového kabelu do routeru, ke kterému bude taktéž připojen i řídicí systém. GSM modul bude s řídicím systémem komunikovat pomocí rozšířeného protokolu MODBUS TCP/IP.

### 3 NÁVRH PROTOTYPU ZAŘÍZENÍ

Kapitola 3 se věnuje návrhu prototypu GSM brány pro PLC systémy. V následujících podkapitolách budou popsány vybrané moduly navrhovaného zařízení. Následně budou vysvětleny použité komunikační protokoly jednotlivých modulů.

#### 3.1 Blokové schéma

Samotný prototyp navrhované GSM brány pro PLC systémy je tvořen celkem z šesti hlavních částí a dalších pěti externích částí.



Obr. 12 Blokové schéma prototypu GSM brány pro PLC systémy

Základní část prototypu by se dala označit jako napájecí část. Ta je rozdělena na dva úseky a je tvořena dvěma měniči snižující napětí. Jedná se o měniče od firmy Texas Instruments s typovým označením LM2596. První z těchto měničů má označení LM2596-3,3. Na svých výstupních svorkách dává trvale napětí 3,3 V, které slouží k napájení procesoru, pomocných obvodů a ethernetového modulu. Napětí 3,3 V je pevně nastaveno měničem a nelze jej jakkoliv změnit.

Vzhledem k tomu, že proudová spotřeba GSM modulu sahá v komunikačních špičkách až ke 2 A, a napájecí napětí modulu je v rozsahu 3,5 – 4,2 V, tak bylo třeba

GSM modulu přiřadit samostatný zdroj. Tomu opět vyhověl měnič LM2596SX-ADJ s možností nastavení výstupního napětí na požadovanou hodnotu.

Další nezbytnou částí je řídicí jednotka čili procesor. Díky vnitrofiremním zvyklostem firmy byl zvolen procesor ATXMEGA od firmy Atmel. Konkrétně byl vybrán typ ATXMEGA 128D3.

Pro komunikaci po rozšířeném protokolu MODBUS TCP/IP byl zvolen ethernetový modul ETH WIZ click s procesorem W550. Pomocí kabelu s koncovkou RJ - 45 je připojen k síťovému prvku, v našem případě se jedná o switch. Do síťového prvku je taktéž připojen řídicí systém.

Převodník USB/UART slouží k uživatelskému nastavení prototypu. Pomocí tohoto modulu se k prototypu připojí PC a v obslužném programu bude možnost nastavit základní parametry komunikační stanice. Hlavně se jedná o definici připojení přes ETH WIZ click, tzn. nastavení libovolné IP adresy, masky sítě, výchozí brány, a hlavně nastavení čísla mobilního telefonu pro zasílání krátkých zpráv informujících o stavu připojených zařízení k řídicímu systému.

### 3.2 Procesor ATXmega 128D3

Díky vnitrofiremním zvyklostem firmy byla jako řídicí jednotka zvolen procesor ATXMEGA 128D3 od firmy Atmel. Vzhledem k tomu, že u procesoru jsou využívány převážně jen dvě periférie, tak kvůli prostorovým úsporám byl zvolen procesor v pouzdru TQFP64.

Procesor má paměť rozdělenou podle Harvardské architektury, tzn. že paměťový prostor je rozdělen do tří částí. Dělí se na programovou paměť (FLASH), datovou paměť (SRAM) a datovou paměť EEPROM. V našem případě dosahuje FLASH paměť kapacity 128 kB, SRAM paměť 8 kB a EEPROM 2048 bajtů.

I když jsou u prototypu využity převážně jen dva porty procesoru, tak se tento procesor může pochlubit dalšími pěti perifériemi (porty). Na těchto portech je možnost využít až tři rozhraní USART, dvou rozhraní komunikace po SPI a dvou rozhraní komunikace po TWI.

Pro možnost nahrání programu do procesoru bylo využito komunikačního rozhraní PDI. Pro zvětšení frekvence procesoru byl také přidán externí oscilátor s frekvencí 32 MHz. [20]

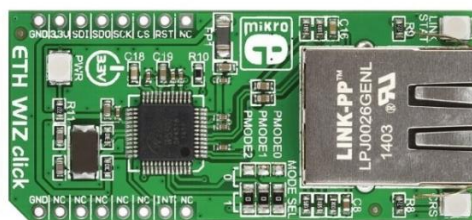


Obr. 13 Procesor ATXMEGA 128D3 v pouzdru TQFP64

### 3.3 Síťový ethernetový modul

Pro komunikaci po síti ethernet byl zvolen komunikační síťový modul ETH WIZ click s osazeným mikročipem W5500. Modul je dále osazen konektorem RJ45 a dalšími pomocnými obvody.

Čip W5500 je pevný ethernetový řadič s integrovaným protokolem TCP/IP. K mikroprocesoru se připojuje po sériové sběrnici SPI jako prvek SLAVE. Model W550 podporuje rychlost SPI komunikace až 80 MHz. Pro zpracování ethernetových dat je k dispozici 32 kbit paměti. Čip obsahuje 8 nezávislých komunikačních kanálů, které jsou označeny jako hardwarové sokety. [21]



Obr. 14 Síťový ethernetový modul ETH WIZ click [22]

#### 3.3.1 Komunikace ethernetového modulu po sběrnici SPI

Jak bylo řečeno výše, síťový ethernetový modul komunikuje s mikroprocesorem po sběrnici SPI (Serial Peripheral Interface). Sběrnici SPI lze využít pro propojení dvou či více zařízení. Topologie této komunikace je vždy založena na dvou komunikujících zařízeních. Obvod s mikroprocesorem bývá ve většině případů označován jako hlavní čili MASTER. Druhé zařízení je z většiny případů např. senzor, v našem případě se jedná o modul ETH WIZ click, tudíž se označuje SLAVE. [23]

SPI je duplexní synchronní přenos, který využívá ke komunikaci čtyř vodičů – SCK (hodinový signál), MOSI (Master Out Slave In, tzn. zařízení master vysílá a zařízení slave přijímá), MISO (Master In Slave Out, tzn. master přijímá a slave vysílá), SS (Slave select). Jestliže je k mikroprocesoru připojeno více zařízení slave, tak vodič SS vybírá zařízení, které bude komunikovat. V jednu chvíli může master komunikovat pouze s jedním zařízením slave. [23]

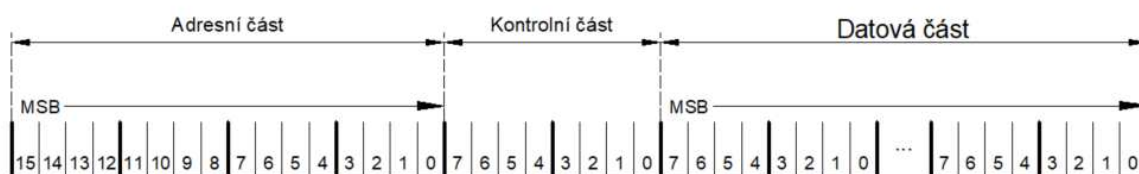
#### 3.3.2 Komunikační SPI řetězec ethernetového modulu

Jelikož bude na tomto modulu nejvíce záležet, bude dobré trochu více popsat co se děje na SPI sběrnici při odesílání dat.

SPI řetězec se skládá z 16bitové adresy, která je součástí adresní části. Dále z 8bitové kontrolní části a  $n$  potřebných bitů pro přenos datové informace. Datové bity jsou seřazeny od MSB po LSB, tedy od nejvíce významného bitu po nejméně významný bit.

Adresní část představuje 16bitovou adresu pro registry čipu W5500 a odesílací a přijímací buffer. Adresa se odesílá sekvenčně od nejvyššího významného bitu po nejméně významný bit. [21]

Kontrolní část udává 8bitový řetězec, podle kterého se určuje, jestli se data odesílají či přijímají, jaký je bitový rozsah přenášeného datového řetězce. Jak bylo řečeno na začátku kapitoly, lze využít osm komunikačních kanálů neboli socketů. Tak právě jeden z bitů kontrolního řetězce udává, který komunikační socket je zrovna využíván. [21]



Obr. 15 Komunikační SPI řetězec ethernetového modulu [21]

### 3.4 GSM modul SIM800L

SIM800L je čtyř pásmový GSM/GPRS modul. Pracuje na frekvencích GSM850 MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz, a PCS1900MHz. Jelikož modul bude jen odesílat krátké SMS zprávy, bude využito jen pásmo GSM850. GPRS (General Packet Radio Service) funkce slouží uživatelům mobilních telefonů přenášet data a připojovat se k internetu. Tato funkce v uvažovaném prototypu nebude využívána. [24]

Modul SIM800L může pracovat ve dvou hlavních režimech.



Obr. 16 GSM modul SIM800L

#### 3.4.1 Normální operační režim modulu SIM800L

Normální režim by se dal ještě rozdělit na další čtyři funkce. Prvním režimem je GSM/GPRS SLEEP. Modul automaticky přejde do režimu spánku, pokud jsou splněny podmínky režimu spánku, a pokud nenastalo nějaké hardwarové přerušení. V tomto prvním režimu je spotřeba proudu zredukována na minimum, ale i tak modul dokáže přijímat SMS zprávy. [24]

Druhý mód se nazývá GSM IDLE. V tomto režimu je software modulu aktivní. Modul je připojen do GSM sítě a připraven na jakoukoliv komunikaci.

Třetí mód nese název GSM TALK. Tento režim lze považovat za aktivní. Zajišťuje trvalé propojení dvou uživatelů. Jelikož je celé zařízení plně v chodu, můžou při zahájení komunikace nastat vyšší proudové odběry. [24]

Čtvrtý a pátý mód je zaměřen na přenos dat mezi uživateli. Jak bylo řečeno výše, tato funkce nebude využívána a není třeba ji vysvětlovat. [24]

### 3.4.2 Režim Power down

Režim Power down se velice podobá režimu GSM/GPRS SLEEP. Nicméně v tomto režimu není modul schopen žádné komunikace. Veškeré periferie jsou odpojeny. Jediné, co funguje je obvod hodin v reálném čase. Dokonce jsou odpojeny i sériové porty pro komunikaci s mikroprocesorem. Připojeno je pouze napájení. [24]

### 3.4.3 Komunikační protokol UART

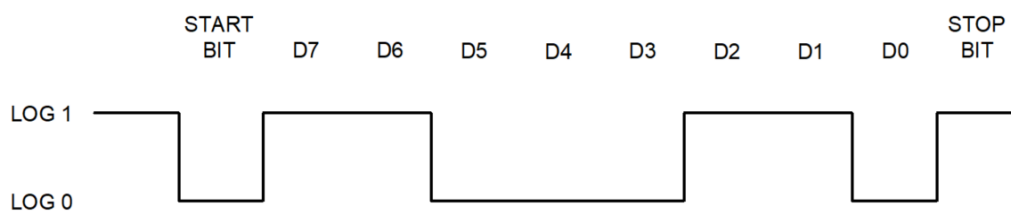
GSM modul využívá ke komunikaci s procesorem komunikační protokol UART. Jedná se o sériové asynchronní rozhraní po dvou vodičích s označením Tx a Rx. Přenos dat je zde označován jako plně duplexní, tzn. data jsou přenášena v obou směrech.

Vysílání datového rámce je zde prováděno po vodiči Tx (trasmit) a přijímání datového rámce zajišťuje vodič Rx (recieve). Jak bylo řečeno, data jsou posílána po rámcích. Datový rámec lze rozdělit celkem na tři části. [25], [26]

První část se označuje jako start bit. Ten je reprezentován logickou nulou. Je-li totiž na lince klidový stav, tak je úroveň signálu v logické jedna. V případě zahájení komunikace přejde úroveň signálu do logické nuly a komunikace je zahájena.

Druhou část tvoří již samotný datový rámec o velikosti 8 bitů. Bity jsou seřazeny od nejvýznamnějšího bitu po nejméně významný bit.

Konec celého přenosového rámce je ukončen stop bitem. Ten je zde reprezentován



přechodem z logické nuly do logické jedna. [25], [26]

Obr. 17 Komunikační rámec protokolu UART

### 3.4.4 AT příkazy

Jelikož se modul SIM800L považuje za modem, lze jej ovládat pouze tzv. AT příkazy. AT příkazy se vyvinuly ze specifického programovacího jazyka, který byl původně určen pro ovládání modemu Hayes Smartmodem 300 v sedmdesátých letech. Jazyk nese název po svém vynálezci Dennisi Hayesovi, který byl vynálezcem zmíněného modemu. Tento specifický programovací jazyk byl vynalezen za účelem jednodušší konfigurace modemu. V dnešní době se mu říká AT-language neboli AT příkazy. Zkratka AT vychází z anglického slova attention čili pozor. [27], [28]

AT příkazy lze považovat za krátké řetězce znaků. Příkazy jsou standardizované a platí pro celou škálu modemů. Příkazy vždy začínají písmeny AT a za nimi následuje další sada znaků, které slouží k ovládání modemu. V tabulce níže je soupis běžných AT příkazů. [27], [28]

Tab. 6 Soupis běžných AT příkazů [29]

AT příkaz	popis funkce
AT	Test spojení
AT+CFUN=1	Nastaví plnou funkčnost modulu (příchozí i odchozí hovory)
AT+CPIN?	Zjistí, zda není sim karta zablokována.
AT+CSQ	Síla přijímaného signálu mobilního operátora
AT+COPS?	Informace o operátorovi
AT+CMEE=2	Pokud dojde k chybě, příkaz povolí podrobnější chybové výpisy
AT+CMGF=1	Nastaví formát zprávy jako textový
AT+CMGS="+420 xxx xxx xxx"	Příkaz pro zaslání textové zprávy na dané tel. Číslo
AT+CMGL="ALL"	Vypíše všechny textové zprávy

### 3.5 Napájecí zdroj LOR4301-2

Jde o standartní napájecí zdroj s možností montáže na DIN lištu. Zdroj je napájen ze sítě střídavým napětím 230 V. Na výstupu zdroj nabízí napětí v rozsahu 24–30 V s výstupním proudem 2,5A. Zdroj posloužil pro otestování vyvíjeného prototypu. [30]



Obr. 18 Napájecí zdroj LOR4301-2 [30]



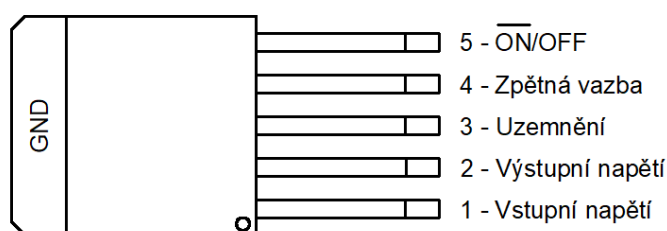
## 4 SCHÉMA ZAPOJENÍ PROTOTYPU

V této kapitole budou popsány nejvýznamnější vybrané komponenty a elektronická schémata jednotlivých částí prototypu GSM brány pro PLC systémy. Nejprve bude popsán měnič snižující napětí LM2596, poté bude popsán postup návrhu a výběr pomocných komponent obou napájecích částí. Na závěr kapitoly bude taktéž popsáno zapojení procesoru a USB/UART převodníku.

### 4.1 Měnič snižující napětí LM2596

LM2596 je monolitický integrovaný obvod, který lze použít v řadě různých aplikacích. Nicméně nejčastěji se s ním lze setkat v podobě měniče snižujícího napětí. Největší výhodou této komponenty je především velký rozsah hodnot vstupního napětí. To se může pohybovat v rozmezí 5–45 V. Další velice důležitou a ceněnou vlastností tohoto měniče je možnost spínání zátěže o velikosti až 3 A. [31]

Obrovskou výhodou je taktéž fakt, že ke správné činnosti měniče je zapotřebí minimum externích komponent. Zpravidla stačí celkem jen čtyři komponenty. Jedná se o vstupní kondenzátor, diodu, cívku a výstupní kondenzátor. V případě, kdy chceme využít typ měniče s libovolným nastavením výstupního napětí, jsou do obvodu přidány další dvě komponenty. Zpětnovazební rezistory a kondenzátor. [31]



Obr. 19 Rozložení pinů LM2596 s pouzdrem TO263-5 [31]

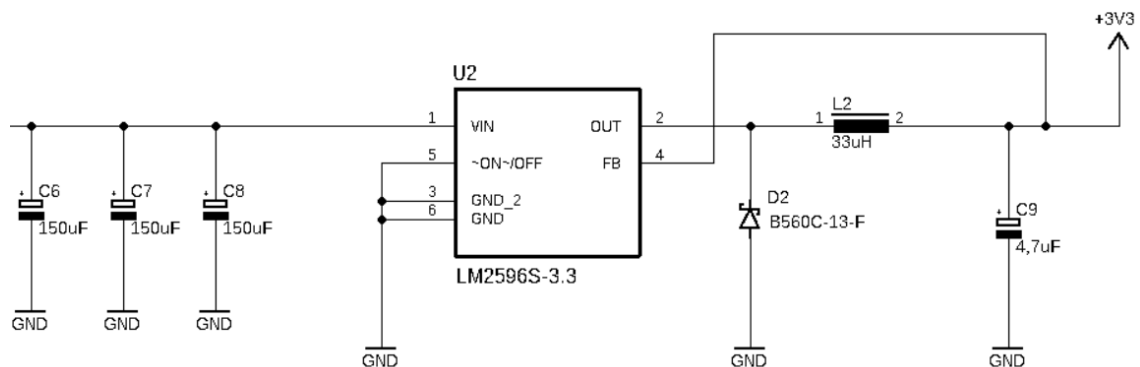
Měniče lze zakoupit ve třech různých provedeních. V prvních dvou případech se jedná o to, že výstupní napětí měniče je již fixně dané a nelze jej měnit. V prvním případě jde o měnič s fixním výstupním napětím 3,3 V s označením LM2596-3,3. Ve druhém případě jde o měnič s fixním výstupním napětím 5 V s označením LM2596-5. Třetí variantou měniče, je možnost výstupní napětí libovolně měnit. Tento typ nese označení LM2596-ADJ. Nicméně pro správnou funkci měniče snižujícího napětí musí platit pravidlo, že vstupní napětí měniče musí být vždy větší než napětí na výstupních svorkách. [31]

Měniče jsou k dostání ve dvou typech zapouzdření. Prvním typ pouzdra nese označení TO263-5, které je určeno pro povrchovou montáž SMD. Druhý typ pouzdra má označení TO220-5, které je zase určeno pro montáž THT (Through-hole technology) neboli osazení drátovými vývody. [31]

## 4.2 Napájecí část s výstupním napětím 3,3 V

Napájecí část s napětím 3,3V je tvořena měničem snižující napětí s typovým označením LM2596-3,3 s fixním výstupním napětím 3,3 V na výstupu. Tato napájecí část slouží k distribuci energie do procesoru, pomocných obvodů a také do ethernetového modulu ETH WIZ click.

Jelikož se jedná o typ měniče s fixní hodnotou výstupního napětí, tak je schéma této napájecí části relativně jednoduché. Je tvořeno celkem ze čtyř externích komponentů. Jde o vstupní kondenzátor, diodu, tlumivku a výstupní kondenzátor.



Obr. 20 Schéma zapojení měniče LM2596 o výstupním napětí 3,3 V

### 4.2.1 Vstupní kondenzátory měniče

Mezi vstupním pinem a nulovým potenciálem (zemí) nařizuje výrobce měniče umístit nízkonapěťový kondenzátor. Materiálová struktura kondenzátoru by měla být tvořena buď z hliníku nebo tantalu. Tento kondenzátor zabrání vzniku velkého napětí ve vnitřním obvodu tranzistoru měniče. Aby obvod pracoval spolehlivě, doporučuje výrobce měniče umístit kondenzátor co nejbližší vstupnímu pinu a vyhnout se dlouhým spojům na desce plošných spojů. [31]

Podle vstupního napětí je třeba dimenzovat jmenovité napětí kondenzátoru. Výrobce měniče udává, že kondenzátor by měl být dimenzován alespoň na 1,5násobek vstupního napětí. V případě prototypu GSM brány je vstupní napětí uvažováno v rozsahu 19–32 V. Pro napěťové dimenzování kondenzátoru bude uvažována nejhorší varianta čili vstupní napětí 32 V. [31]

Pro výpočet napětí vyjdeme ze vztahu:

$$U_{C_{in}} = 1,5 \cdot U_{in} = 1,5 \cdot 32 = 48 \text{ V} \quad (4.2.1-1)$$

kde  $U_{in}$  je vstupní napětí a  $U_{C_{in}}$  je napětí kondenzátoru.

Dále výrobce měniče udává jako typickou hodnotu vstupního kondenzátoru 470µF. Pro potřeby prototypu byly zvoleny tři kondenzátory zapojeny paralelně s kapacitou 150µF.

Tudíž výsledná kapacita je dána rovnicí pro paralelní spojení kondenzátorů

$$C_{in} = C_6 + C_7 + C_8 = 150 + 150 + 150 = 450\mu F \quad (4.2.1-2)$$

Díky prostorovým požadavkům DPS byly zvoleny hliníkové elektrolytické kondenzátory typu UUD1H151MNL1GS s kapacitou 150  $\mu F$  od firmy Nihicon se jmenovitým napětím 50 V.

## 4.2.2 Zachytávací dioda

Zachytávací dioda zajišťuje průchod proudu v době, kdy je měnič odpojen a induktor se v tu chvíli stává generátorem proudu.

Je třeba aby dioda byla velice rychlá. Tomu přísluší použít Schotkyho diodu. Při volbě diody je třeba se držet návrhových pravidel, které udává výrobce. [31]

První pravidlo říká, že proud diody musí být dimenzován alespoň na 1,3násobek maximálního spínaného proudu zátěže. Zde vyjdeme z maximální hodnoty výstupního proudu, kterou je schopen měnič vyprodukovat čili 2,5A. Z toho nám vyplývá rovnice pro výpočet proudu diodou:

$$D_{I_{max}} = 1,3 \cdot I_Z = 1,3 \cdot 2,5 = 3,25 A \quad (4.2.2-1)$$

kde  $D_{I_{max}}$  je maximální proud diodou a  $I_Z$  je maximální proud zátěže. [31]

Druhé pravidlo určí maximální závěrné napětí diody. Závěrné napětí musí být alespoň 1,25krát větší, než je maximální vstupní napětí. Z toho opět vyplývá rovnice pro výpočet závěrného napětí na diodě:

$$D_{U_{max}} = 1,25 \cdot V_{in\_max} = 1,25 \cdot 32 = 40V \quad (4.2.2-2)$$

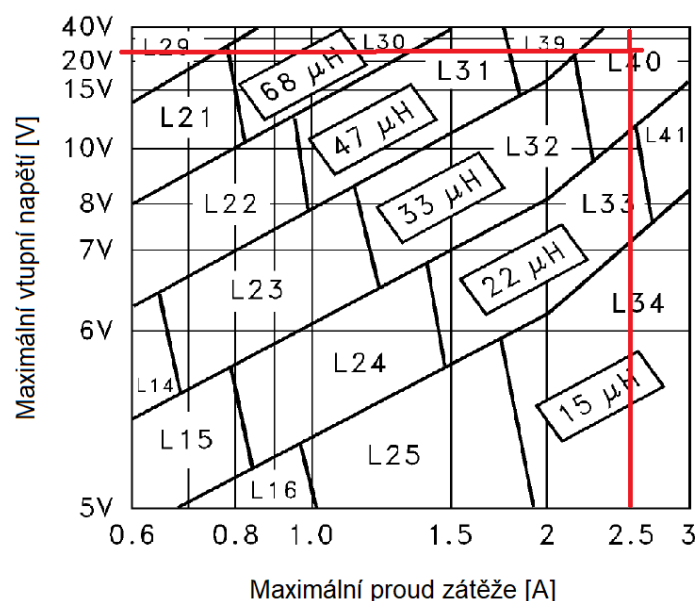
kde  $D_{U_{max}}$  je maximální závěrné napětí na diodě a  $V_{in\_max}$  je maximální vstupní napětí měniče. [31]

Z těchto parametrů a požadavků byla vybrána Schotkyho dioda s typovým označením B560C-13-F od výrobce Diodes incorporated s maximální hodnotou závěrného napětí 60 V a souvislým protékajícím proudem 5 A.

## 4.2.3 Výstupní tlumivka

Díky prostorovým požadavkům byla zvolena tlumivka s co nejmenšími rozměry. Jelikož se na desce plošných spojů nachází společně napájecí část s komunikační částí, tak proto byl kladen důraz na to, aby tlumivka byla stíněná.

Při návrhu indukčnosti tlumivky se vycházelo z maximálního spínaného proudu zátěže a z maximálního vstupního napětí. V případě GSM je uvažován maximální proud při spínání zátěže 2,5 A a maximální vstupní napětí 32 V. [31]



Obr. 21 Graf závislosti proudu zátěže na maximálním vstupním napětí [31]

Z grafu je vidět, že pro navrhovaný měnič odpovídá tlumivka s indukčností  $33 \mu\text{H}$ . Díky tomuto odečtu byla zvolena tlumivka s označením MSS1210-333MEB s indukčností  $33 \mu\text{H}$  od firmy Coilcraft.

#### 4.2.4 Výstupní kondenzátor

Výstupní kondenzátor zajišťuje stabilitu smyčky měniče a filtruje výstupní napětí. Výrobce doporučuje použít kondenzátory s nízkou impedancí, tudíž se hodí použít buď elektrolytické kondenzátory nebo tantalové kondenzátory. Z důvodu úspory místa na desce plošných spojů byl zvolen tantalový kondenzátor s typovým označením TPSA475K010R1400 s kapacitou  $4,7 \mu\text{F}$  od firmy AVX. Při návrhu velikosti kapacity kondenzátoru pomohl program Webench Power Designer od společnosti Texas Instruments.

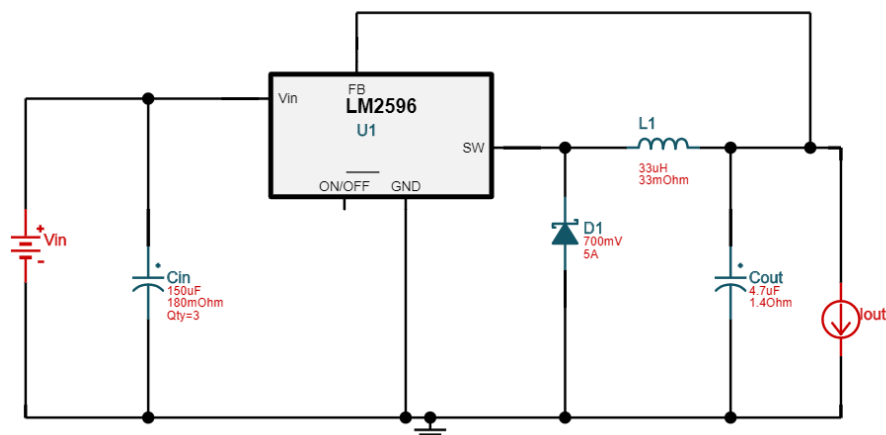
#### 4.2.5 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer

Pro správně ověření návrhu posloužil program od společnosti Texas Instruments s názvem Webench Power designer. Tento všestranný program v sobě skrývá řadu možností.

Uživatelské rozhraní je velice příjemné a jednoduché. Stačí zadat konkrétní typ měniče, rozsah vstupního napětí, výstupní napětí a výstupní proud. Po chvíli program vyhodnotí výsledky a navrhne konkrétní řešení s konkrétními externími prvky. Velkou výhodou je taktéž možnost změnit externí součástky a přizpůsobit se je tak vlastním potřebám. Když klikneme na jednotlivé komponenty, lze zde vidět také jejich vlastnosti. V programu je taktéž možnost provést základní simulaci navrhovaného obvodu.

### Customize LM2596SX-3.3/NOPB - 19V - 32V to 3.30V @ 2.5A

Input: DC 19 V - 32 V    Output: 3.3 V at 2.5 A    Temp: 30 °C    [Change](#)

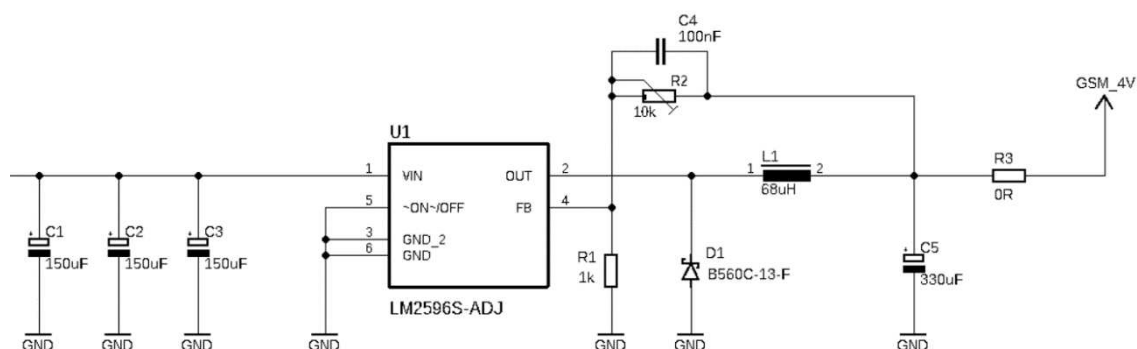


Obr. 22 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer

## 4.3 Napájecí část s výstupním napětím 4 V

Pro napájecí část s výstupním napětím 4 V byl opět použit měnič LM2596. Napájecí část slouží jen k napájení GSM modulu SIM 800L.

Modul má samostatné napájení z důvodu právě již zmíněné atypické hodnoty napájecího napětí a také proto, že při přihlašování k GSM síti může tento modul dosahovat proudového odběru až 2 A. Z tohoto důvodu byl opět zvolen měnič LM2596, ale tentokrát s typovým označením LM2596SX-ADJ s možností libovolného nastavení výstupního napětí.



Obr. 23 Schéma zapojení měniče LM2596 o výstupním napětí 3,3 V

### 4.3.1 Vstupní kondenzátory

Postup návrhu je stejný jak v kapitole 4.2.1. Jelikož je tato napájecí část připojena ke stejnému zdroji napětí jak v případě měniče LM2596-3.3, tak jsou vstupní kondenzátory nadimenzovány stejným způsobem. Byly vybrány stejné typy jak v předešlém případě, tedy tři kondenzátory typu UUD1H151MNL1GS s kapacitou 150 uF od firmy Nihicon se jmenovitým napětím 50 V.

### 4.3.2 Zachytávací dioda

Opět byl postup výběru diody totožný jak v kapitole 4.2.2. Znova byly použity dvě pravidla pro návrh diody.

První pravidlo říká, že proud dioda musí být dimenzována alespoň na 1,3násobek maximálního spínaného proudu zátěže. Zde opět vyjdeme z maximální hodnoty výstupního proudu, kterou je schopen měnič vyprodukovat čili 2,5A. Z toho nám vyplývá rovnice pro výpočet proudu diodou:

$$D_{I_{max}} = 1,3 \cdot I_Z = 1,3 \cdot 2,5 = 3,25 \text{ A} \quad (4.3.2-1)$$

kde  $D_{I_{max}}$  je maximální proud diodou a  $I_Z$  je maximální proud zátěže. [31]

Druhé pravidlo určí opět maximální závěrné napětí diody. Závěrné napětí musí být alespoň 1,25krát větší, než je maximální vstupní napětí. Z toho opět vyplývá rovnice pro výpočet závěrného napětí na diodě:

$$D_{U_{max}} = 1,25 \cdot V_{in\_max} = 1,25 \cdot 32 = 40 \text{ V} \quad (4.3.2-2)$$

kde  $D_{U_{max}}$  je maximální závěrné napětí na diodě a  $V_{in\_max}$  je maximální vstupní napětí měniče. [31]

Z těchto parametrů a požadavků byla opět vybrána Schotkyho dioda s typovým označením B560C-13-F od výrobce Diodes Incorporated s maximální hodnotou závěrného napětí 60 V a souvislým protékajícím proudem 5 A.

### 4.3.3 Výstupní tlumivka

Při výběru a dimenzování tlumivky bylo pro měnič s typovým označením LM2596S-ADJ postupováno podobně jak v kapitole 4.2.3. Opět byl kladen důraz na prostorové možnosti desky a odstínění tlumivky.

V tomto případě se vyšlo opět z předpokladu maximálního spínaného proudu zátěže, který je měnič schopen vyprodukovat. Opět byl uvažován maximální proud 2,5 A. Oproti předchozímu návrhu tlumivky, kdy se vycházelo z maximálního vstupního napětí, tak zde se vychází z tzv. konstanty volt sekundové rovnováhy. Jedná se vlastně o integrál napětí napříč induktorem během spínací periody. Pro výpočet konstanty se vyšlo ze vztahu, který udává výrobce v manuálu měniče LM2596-ADJ. [31]

Pro výpočet bylo třeba znát určité hodnoty. V první řadě musíme znát maximální velikost vstupního napětí, velikost výstupního napětí, interní saturační napětí měniče a propustné napětí diody.

Tab. 7 Hodnoty pro výpočet konstanty volt sekundové rovnováhy

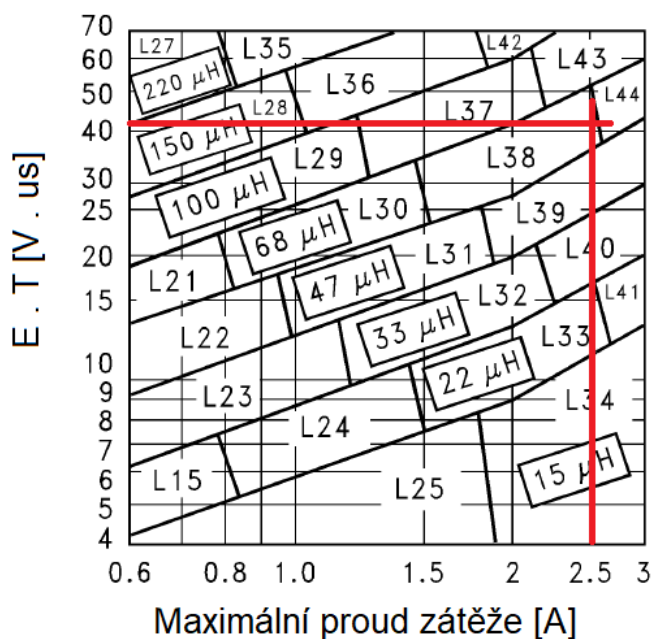
Maximální vstupní napětí měniče	$V_{in}$ [V]	32
Výstupní napětí měniče	$V_{out}$ [V]	8
Vnitřní saturační napětí měniče	$V_{sat}$ [V]	1,16
Napětí na diodě v propustném směru	$V_D$ [V]	0,5

K výpočtu volt sekundové konstanty vyjdeme z rovnice: [31]

$$E \cdot T = (V_{in} - V_{out} - V_{SAT}) \cdot \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} - V_{SAT} + V_D} \cdot \frac{1000}{150 \text{ kHz}} \quad (4.3.3-1)$$

$$E \cdot T = (32 - 8 - 1,16) \cdot \frac{8 + 0,5}{32 - 1,16 + 0,5} \cdot \frac{1000}{150} = 41,29 \text{ V} \cdot \mu\text{s} \quad (4.3.3-2)$$

Nyní se pomocí vypočítané hodnoty konstanty a maximálního výstupního proudu odečte z grafu hodnota indukčnosti požadované tlumivky.



Obr. 24 Graf závislosti proudu zátěže na konstantě E.T [31]

Z grafu je jasné patrné, že pro potřeby tohoto měniče vyhovuje tlumivka s indukčností 68  $\mu\text{H}$ . Díky tomuto odečtu byla zvolena tlumivka s označením MSS1210-683MED s indukčností 68  $\mu\text{H}$  od firmy Coilcraft.

#### 4.3.4 Výstupní kondenzátor

Jak v předchozím případě, tak i zde výstupní kondenzátor zajišťuje stabilitu smyčky měniče a filtruje výstupní napětí. I opět zde výrobce doporučuje použít kondenzátory s nízkou impedancí. Opět doporučuje použít buď elektrolytické nebo tantalové kondenzátory. V tomto případě byl zvolen přímo kondenzátor, který doporučuje výrobce. Byl vybrán elektrolytický kondenzátor s typovým označením EEEFK1E331P o hodnotě 330  $\mu\text{F}$  se jmenovitým napětím 25 V. [31]

#### 4.3.5 Zpětnovazební smyčka

Vzhledem k tomu, že GSM modul má atypické napájecí napětí 4 V, bylo třeba použít měnič s regulací výstupního napětí. K tomu posloužila regulační zpětnovazební smyčka vyvedená na pinu číslo 4 měniče s typovým označením LM2596-ADJ.

Zpětnovazební regulační smyčka je tvořena třemi externími součástkami. Jedná se o rezistor, kondenzátor a potenciometr.

Při návrhu zpětnovazebních komponent byl opět použit vztah, který udává výrobce měniče: [31]

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (4.3.5-1)$$

Kde  $V_{out}$  je výstupní napětí 8 V,  $V_{ref}$  je referenční napětí měniče 1,23 V a hodnota  $R_1$  byla zvolena 1 k $\Omega$ . Z tohoto vztahu se nyní vyjádří vztah pro hodnotu rezistoru  $R_2$ : [31]

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1\right) = 1000 \cdot \left(\frac{8}{1,23} - 1\right) = 5\,504,01\,\Omega \quad (4.3.5-2)$$

Z důvodu přesného nastavení výstupního napětí na požadovanou hodnotu byl jako prvek  $R_2$  zvolen potenciometr o hodnotě 10 k $\Omega$  a zpětnovazební kondenzátor byl zvolen z keramického materiálu s hodnotou 100nF.

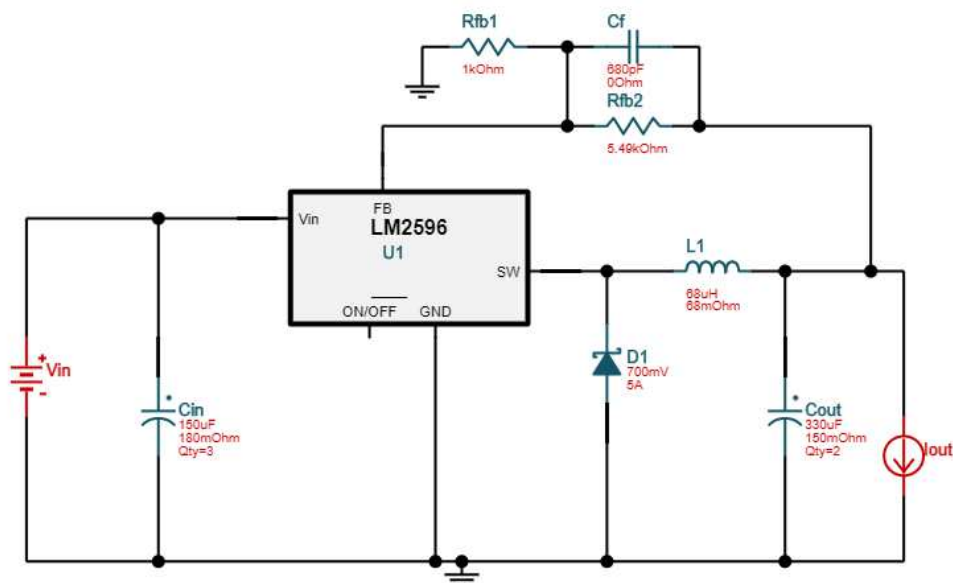
#### 4.3.6 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer

I v tomto případě návrhu měniče, by návrh ověřen v programu Webench Power Designer od společnosti Texas instruments.



### Customize LM2596SX-ADJ/NOPB - 19V-32V to 4.00V @ 2.5A

Input: DC 19 V - 32 V    Output: 8 V at 2.5 A    Temp: 30 °C    [Change](#)



Obr. 25 Ověření návrhu měniče v programu Webench Power Designer

## 4.4 Signálová část s procesorem

Nyní se dostáváme již k signálové části. Jak bylo řečeno výše, jako řídicí jednotka byl zvolen procesor ATXMEGA 128D3 od firmy Atmel. Schéma zapojení je uvedeno v příloze.

Jelikož jsou využívány převážně jen dvě periférie procesoru, byl vybrán procesor v pouzdru TQFP-64.

U procesoru je plně využit port D. Rozložení pinů na portu D je zobrazeno v následující tabulce.

Tab. 8 Rozložení pinů na portu D procesoru ATXMEGA 128D3

PORT D	PIN #	Přerušení	TCD0	USART	SPI
PD0	26	SYNC	OC0A		
PD1	27	SYNC	OC0B	XCK0	
PD2	28	SYNC/ASYN	OC0C	RXD0	
PD3	29	SYNC	OC0B	TXD0	
PD4	30	SYNC			SS
PD5	31	SYNC			MOSI
PD6	32	SYNC			MISO
PD7	33	SYNC			SCK
GND	34				
VCC	35				

Pro návrh GSM brány je na portu D využit komunikační protokol SPI, který je připojen k pinům PD4 – PD7. Komunikační protokol SPI je využíván modulem ETH WIZ click, který dále komunikuje se síťovým prvkem po rozšířeném protokolu MODBUS/TCP/IP.

Dále je na portu D využit komunikační protokol UART jednotky. Ten je využíván k přenosu dat mezi procesorem a GSM modulem SIM800L.

Posledním využívaným komunikačním rozhraním je opět komunikační protokol UART. Jelikož na portu D, je pouze jedna UART jednotka, bylo nutné využít další komunikační UART jednotky na portu C. Zde se nachází na pinech s číslem PC2 a PC3. Tato UART jednotka slouží ke komunikaci mezi GSM bránou a USB portem v počítači. Pomocí této jednotky je možné uživatelsky nastavit komunikační rozhraní GSM brány. Jedná o nastavení libovolné IP adresy, masky sítě, výchozí brány, a hlavně nastavení čísla mobilního telefonu pro zasílání krátkých zpráv informující o stavu připojených zařízení k řídicímu systému.

Pro nahrání programu do procesoru bylo využito komunikačního rozhraní PDI. Pro zvětšení frekvence procesoru byl taktéž přidán externí hodinový oscilátor s frekvencí 32 kHz. Zapojení s procesorem je taktéž vybaveno resetovacím pinem, který je společně s indikační diodou zapnutí vyveden na čelní desku plošných spojů umístěnou v přední části konstrukční krabičky.

## 4.5 Návrh zapojení signalizační diody ZAP/VYP

Při návrhu signalizační diody a jejího předřadného odporu se postupovalo pomocí Ohmova a Kirchhoffových zákonů.



Obr. 26 Schéma zapojení signalizační diody ZAP/VYP

Nejprve bylo třeba zvolit LED diodu. Pro tento účel byla zvolena zelená SMD LED dioda s typovým označením S150UGC-1B. Typická svítivost této diody je 40 mcd při proudu 20 mA a napětí 2 V. Tyto hodnoty se nyní použijí pro návrh předřadného odporu s tím, že proud diodou budeme uvažovat maximální dovolený, což je 25 mA.

Napětí zdroje je 3,3 V. Víme, že napětí na diodě jsou 2 V. Z druhého Kirchhoffova zákona si vypočteme napětí na rezistoru:

$$U_R = U_{zdroje} - U_{diody} = 3,3 - 2 = 1,3 \text{ V} \quad (4.5-1)$$

Z informací od výrobce diody víme, že zvládne maximální proud 25 mA. Nyní pomocí Ohmova zákona vypočítáme velikost předřadného odporu:

$$R_5 = \frac{U_R}{I_R} = \frac{1,3}{25 \cdot 10^{-3}} = 52 \, \Omega \quad (4.5-2)$$

Jako předřadný odpor byl zvolen SMD rezistor s odporem 50  $\Omega$ .

## 4.6 USB/UART převodník

V prvotním návrhu bylo uvažováno s FTDI převodníkem FT232BL pro převod dat z USB portu počítače na UART jednotku procesoru. Bylo pro něj navrženo konkrétní schéma zapojení a deska plošných spojů, které jsou součástí příloh. Při návrhu schématu a desky plošných spojů bylo vycházeno z přesných schémat a doporučení, které udává výrobce čipu. Nicméně se tento modul nepodařilo z neznámých důvodů zprovoznit.

Aby bylo možné otestovat obslužný program GSM modulu, byl tento FTDI převodník FT232BL nahrazen komerčně dostupným převodníkem s čipem CP2102 STC. Po připojení k procesoru a k počítači fungoval okamžitě.



Obr. 27 USB/UART převodník s čipem CP2102 STC [32]

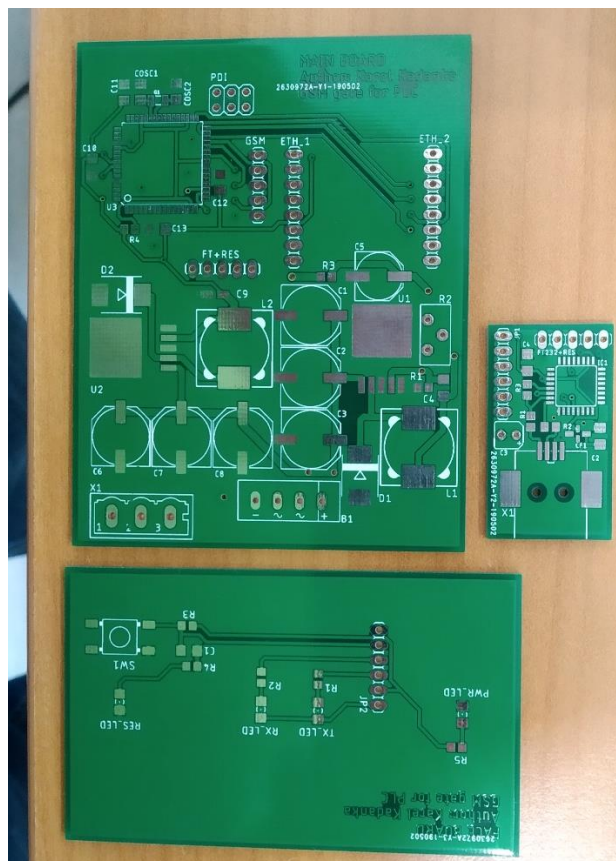
## 4.7 Výroba desek plošných spojů

Návrh desek plošných spojů byl limitován prostorovým řešením konstrukční krabice. Při návrhu hlavní desky plošných spojů byl kladen důraz na minimalizaci komponent, správné rozmístění jednotlivých konektorů a dimenzování proudovodných drah. Z toho důvodu byla převážná část komponent vybrána ve velikosti SMD určené pro povrchové pájení.

V prvotní fázi bylo uvažováno, že se DPS nechají vyrobit u tuzemského výrobce. Nicméně po zjištění cenových nabídek, byl tento nápad zavrhnut. Výroba by byla

zdlouhavá a finančně náročná. Proto byl návrh DPS poslán na výrobu do Číny do firmy JLCPCB, která se specializuje hlavně na výrobu DPS.

Firma JLCPCB nabízí širokou škálu služeb. Jsou schopni zhotovit až šestivrstvé DPS. Dále je možné volit různé barevné variace nepájivé masky, firma udělá kompletní elektrický test průchodnosti všech proudovodných cest a v určitých případech jsou schopni DPS i osadit a zapájet. Výrobu garantují do 24 hodin, což splnili. Na jejich webových stránkách je dokonce vidět i postup jednotlivých fází výroby. Desky byly přepravcem dodány do čtyř dnů. Pájení komponent bylo provedeno ručně.



Obr. 28 Neosazené desky plošných spojů

## 5 MECHANICKÁ KONSTRUKCE PROTOTYPU

Kapitola se zabývá popisem mechanické konstrukce prototypu GSM brány pro PLC systémy. Podrobné výkresy rozmístění jednotlivých prvku v krabici jsou obsaženy v přílohách.

### 5.1 Volba konstrukční krabice

Ještě před samotným návrhem desek plošných spojů, bylo třeba zvolit vhodnou univerzální krabici pro umístění hardwarových komponent prototypu. Od tohoto požadavku se pak odvíjel celý návrh desek plošných spojů.

Prvním požadavkem bylo umístit hardware prototypu do krabice, kterou bude možno připevnit na DIN lištu v rozváděči. Obchodní trh nabízí nepřeberné množství variant konstrukčních krabic.

Nejlépe těmto požadavkům vyhověla krabice s typovým označením D4MG od výrobce GIANITA o rozměrech 71x90,2x57,5 mm. Díky svému dispozičnímu řešení umožňuje tento typ krabice umístit do vnitra více desek plošných spojů. Celý systém je udělán tak, že není třeba desky plošných spojů jakkoliv šroubovat nebo lepit uvnitř krabice. Vše funguje na principu jednoduchých zářezek, které desky plošných spojů uchytí.



Obr. 29 Krabice prototypu GSM brány s typovým označením D4MG

## 5.2 Rozmístění jednotlivých komponent prototypu

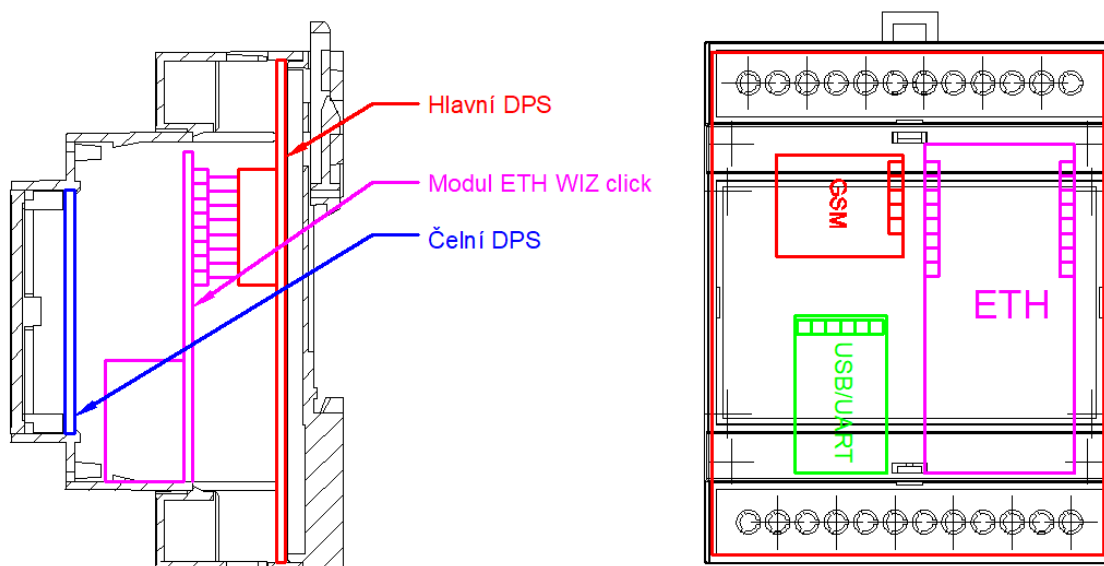
Jak bylo řečeno v předešlé kapitole, rozmístění jednotlivých komponent bylo klíčové pro správný návrh prototypu.

Prototyp je tvořen celkem ze tří desek plošných spojů. Na hlavní desce s označením Main board je umístěna napájecí část, která je tvořena měniči snižující napětí. Dále je na hlavní desce umístěna signálová část tvořená procesorem ATXMEGA 128D3 s jeho pomocnými obvody. V konkrétních místech jsou pak umístěny svorkovnice pro nasunutí modulů ETH WIZ click a GSM modulu SIM800L. Pozici svorkovnic bylo třeba důkladně promyslet, a podle toho navrhnut DPS tak, aby vše do sebe zapadlo. Propojení desek plošných spojů je provedeno přes klasické oboustranné kolíky a dutinkové lišty.

Na druhé desce plošných spojů s názvem Board FT232 měl být umístěn FTDI převodník pro komunikaci z USB na USART. Nicméně se tuto desku nepodařilo zprovoznit, a proto byla nahrazena již vyrobeným a komerčně dostupným převodníkem USB/USART. Propojení převodníku s procesorem je zajištěno kabelem s konektorem KON-PC.

Třetí deska nese název Face board, a je umístěna hned pod čelním krytem. Je na ní vyvedena signalizační zelená dioda informující o stavu zapnutí zařízení. Dále je zde umístěno resetovací tlačítko, které je taktéž pro lepší optickou signalizaci opatřeno červenou diodou. Na čelní desku jsou vyvedeny signalizační diody z původně plánovaného FTDI převodníku, které měly informovat o zápisu a čtení dat. Tyto diody nejsou momentálně připojeny. Přední deska je pak pomocí kabelů a konektorů KON-PC propojena s hlavní deskou plošných spojů.

Rozměrové výkresy s okótovanými vzdálenostmi jsou umístěny v přílohách.



Obr. 30 Rozmístění komponent v krabici D4MG

## 6 PROGRAMOVÁ ČÁST

Předposlední kapitola se věnuje popisu programu vytvořeného prototypu GSM brány, popisu důležitých funkcí.

### 6.1 Hlavní část programu main.c

Celý program byl napsán v programovacím jazyce C. Struktura programu je napsána stylem, kdy máme hlavní programovou část označenou jako *main.c* a k ní jsou přiřazeny obslužné programy pro jednotlivé moduly, nastavení komunikačních rozhraní a potřebné funkce.

Program začíná inicializací knihoven a nastavením pinů. V dalším kroku jsou deklarovány základní proměnné. Jedná se o definici připojení přes modul ETH WIZ click, kde se nastaví IP adresa modulu, MAC adresa, maska sítě a výchozí brána. Pro tento typ proměnných bylo vytvořeno pole znaků o požadované velikosti s datovým typem *uint8\_t*. Datový typ *uint8\_t* pracuje pouze s celými nezápornými čísly.

```
uint8_t station_mac[6] = {0x00,0x14,0x09,0x45,0x26,0xFE};
uint8_t station_ip[4] = {192,168,0,43};
uint8_t gateway_ip[4] = {192,168,0,1};
uint8_t subnet_mask[4] = {255,255,255,0};
```

Jelikož se budou pomocí protokolu MODBUS TCP/IP vyčítat data z GSM modulu, je třeba pro ně taktéž nadefinovat proměnné. Z GSM modulu je vyčítán čas a datum.

```
uint8_t SIM800_day;           // proměnná pro den
uint8_t SIM800_month;        // proměnná pro měsíc
uint8_t SIM800_year;         // proměnná pro rok
uint8_t SIM800_hour;         // proměnná pro hodinu
uint8_t SIM800_min;          // proměnná pro minuty
uint8_t SIM800_sec;          // proměnná pro sekundy
```

Nyní proběhne inicializace SPI jednotky pro komunikaci s ethernetovým modulem ETH WIZ click.

```
W5500_SPI_init();           // inicializace SPI jednotky obsluhující W5500
```

V následujícím kroku je třeba, nahrát uložená data z EEPROM paměti. K tomu byla vytvořena funkce *READ\_DATA\_FROM\_EEPROM*. Jedná se o data, které byla nahrána do paměti obslužným programem pro uživatelské nastavení. Z paměti jsou vyčteny data informující o IP adrese, masce sítě a výchozí bráně. Dále je v paměti uloženo nadefinované telefonní číslo a obsah stavové zprávy informující o změně na vybrané cílce v PLC.

Po získání potřebných dat dojde k inicializaci ethernetového modulu a nastavení požadovaného vysílacího soketu, který slouží k nezávislé komunikaci po síti.

```
W5500_Init(station_mac, subnet_mask, gateway_ip, station_ip);
W5500_Socket0_TCP_server_init(502); // výběr soketu a nastavení portu
```

Když je ethernetový modul nastaven, je třeba inicializovat GSM modul a zahájit komunikaci, která probíhá po sběrnici UART. Ale ještě, než začne modul komunikovat s procesorem, je třeba povolit přerušování, které bude dále využito v programu.

Nyní se vyčkává, až začne modul komunikovat a pomocí AT příkazů jsou vyžádány data obsahující aktuální čas a informaci o operátorovi. Poté je modul opět pomocí AT příkazů nastaven a připraven k odesílání SMS zpráv. Data získaná z modulu jsou uložena do paměti procesoru pomocí funkce *snprintf*.

```
PC_COMM_USART_init(115200); // inicializace USART PC

SIM800L_init(38400); // inicializaci SIM800

// PMIC (Programmable Multi-level Interrupt Controller) - povolení high
level přerušování
PMIC_CTRL |= (1<<2);
PMIC_CTRL |= PMIC_LOLVLEN_bm;
sei();

// vyčkává se, až bude modul komunikovat (tedy až bude návratová hodnota
1)

while(SIM800L_get_data("AT", &state_resp_message, 100) != 1) { }

SIM800L_sms_func_init();
SIM800L_set_act_time();

snprintf(gsm_time, 100, "%s", "00"); // uložení času
snprintf(operator_name, 100, "%s", "00"); // uložení operátora
```

V tuto chvíli program přechází do nekonečné smyčky. Je třeba definovat tzv. holding registry, do kterých jsou uloženy získané informace z GSM modulu, tedy čas a datum. Těmito hodnotami jsou pak pomocí komunikačního protokolu MODBUS implementovány do PLC.

```
MODBUS_HOLDING_REG[1] = SIM800_hour;
MODBUS_HOLDING_REG[3] = SIM800_min;
MODBUS_HOLDING_REG[5] = SIM800_sec;

MODBUS_HOLDING_REG[7] = SIM800_day;
MODBUS_HOLDING_REG[9] = SIM800_month;
MODBUS_HOLDING_REG[11] = SIM800_year;
```

Jelikož získaná data z GSM modulu, informace o čase a datu, jsou ve formátu *char* (datový typ proměnné pro uložení čísla nebo znaku) je třeba tento datový typ ještě převést na celočíselný datový typ proměnné, *integer*. Tento krok je nezbytně nutný, protože holding registry v PLC pracují pouze s datovým typem *integer*. K této konverzi posloužila funkce *atoi*.



```

SIM800_day = atoi(dayString);      // převod proměnné dne do integer
SIM800_month = atoi(monthString);  // převod proměnné měsíce do integer
SIM800_year = atoi(yearString);    // převod proměnné roku do integer
SIM800_hour = atoi(hourString);    // převod proměnné hodiny do integer
SIM800_min = atoi(minString);      // převod proměnné minuty do integer
SIM800_sec = atoi(secString);      // převod proměnné sekundy do integer

```

Nyní má program vše připravené a spustí komunikaci po protokolu MODBUS TCP/IP. K tomu byla vytvořena funkce MODBUS\_TCP\_PROC, ve které je definován komunikační soket ethernetového modulu, buffer (zásobník) pro příjem dat, a proměnná pro zjištění velikosti rámce.

```

MODBUS_TCP_PROC(W5500_SERVER_TCP_SOCKET_driving(SOCKET0,
(uint8_t*)W5500_RX_BUFFER, (uint16_t*)W5500_RX_DATA_LENGTH));

```

Po zahájení komunikace po protokolu MODBUS TCP/IP se čeká na přijatou zprávu. V PLC jsou k tomu určeny tzv. coily (cívky). Cívky jsou data, která jsou modifikována aplikačním programem PLC. Fyzicky si je lze představit jako např. relé, tedy jako binární vstup nějakého čidla.

Pokud PLC zaznamená změnu na příslušné cívce, tak do coil registru zapíše hodnotu 0xFF, což v binární soustavě odpovídá hodnotě 8 bitového čísla 1111 111. Poté program pomocí funkce *if* zjistí, že v coil registru došlo ke změně, tak z EEPROM paměti načte zprávu určenou pro cívku s číslem jedna a načte přiřazené telefonní číslo pro cívku s číslem jedna. Po sběrnici UART pošle tyto zjištěné informace do GSM modulu, nastaví GSM modul na posílání SMS zprávy a zprávu odešle. Nakonec je příslušný coil registr vynulován. Stejným způsobem jsou ovládány všechny čtyři simulované cívky.

```

if(COILS_REG[0] == 0xFF)
{
    eeprom_read_block(&loadedMessStr,EEPROM_MESSAGE1_ADDR,sizeof
loadedMessStr);

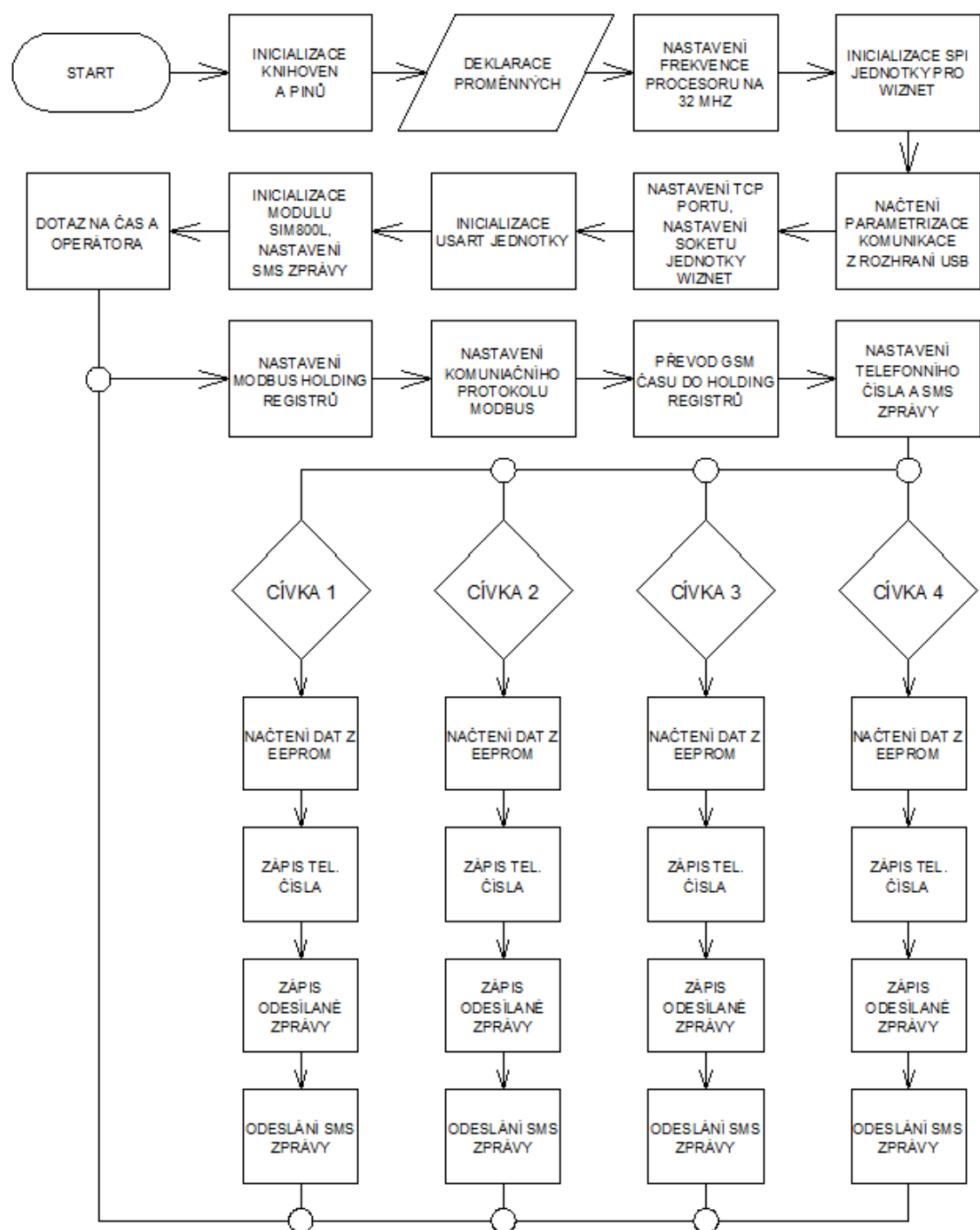
    snprintf(phoneNumToSend, 15, loadedMessStr.phoneNum);

    snprintf(messageContentToSend,55,
loadedMessStr.messageContent);

    SIM800L_SETUP_SMS(&phoneNumToSend, &messageContentToSend);

    COILS_REG[0] = 0x00;
}

```



Obr. 31 Vývojový diagram hlavního programu main.c

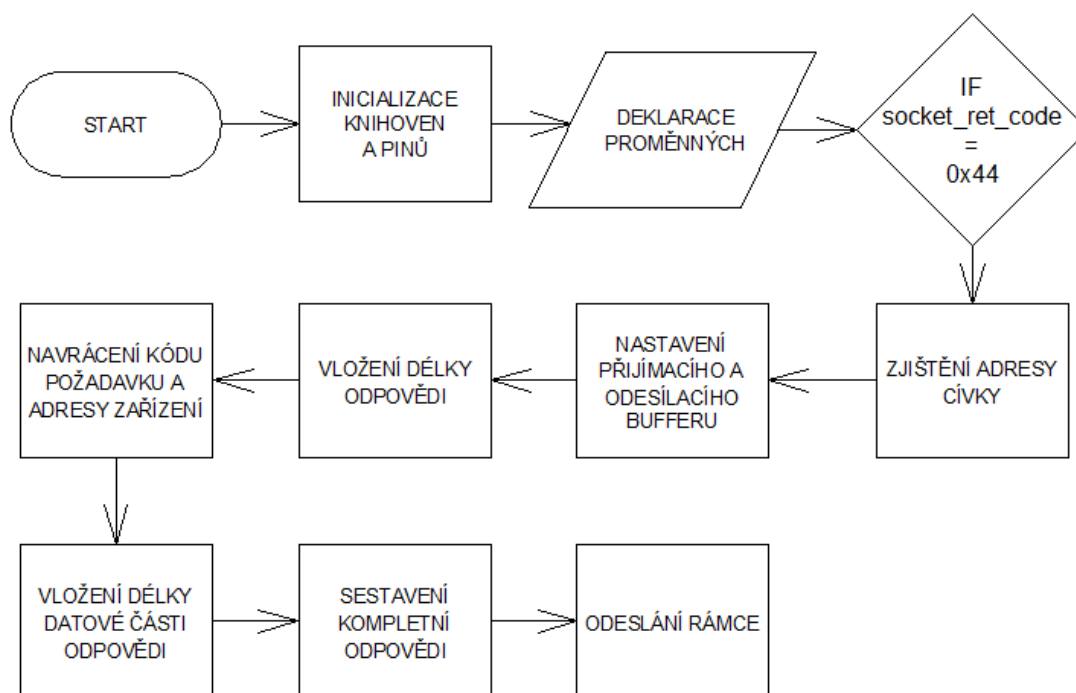
## 6.2 Funkce pro ovládání komunikace po lince MODBUS

Funkce pro ovládání komunikace po lince MODBUS TCP/IP je označena jako *MODBUS\_TCP\_PROC*. Funkce začíná tradičním přiřazením potřebných knihoven. V tomto případě se jedná o standartní knihovnu a knihovnu pro práci s řetězci.

Funkce provádí analýzu přijatých dat, ve kterých je očekáván MODBUS dotaz. Data jsou čtena z příjmového bufferu, který je tvořen bajtovým polem. Do tohoto pole funkce přistupuje přes ukazatel *\*RX\_BUFFER*. Je třeba znát délku dotazované zprávy, ta je definována parametrem *RX\_DATA\_LENGTH*. Pro zpětné odeslání odpovědi je třeba dále vytvořit odesílací buffer, který je taktéž tvořen bajtovým polem. Přistupuje se do něj přes ukazatel *\*TX\_BUFFER*. Celková délka (počet bajtů) odpovědi je pak vrácena přes ukazatel *\*TX\_DATA\_LENGTH*.

Velikost odesílací bufferu (*TX\_BUFFER*) je prostorově omezena. Z toho důvodu je třeba omezit délku dat, která jsou do bufferu vkládána, to je provedeno zadáním *TX\_DATA\_LIMIT*. Zadaný údaj limituje počet zapsaných bajtů tak, aby funkce neprovedla zápis do zakázané oblasti paměti.

Podmínkou *if (socket\_ret\_code = 0x44)* je zjišťováno, jestli byly modulem ETH WIZ click přijaty nová data. Hodnota 0x44 je kódové označení, že komunikační soket přijal nová data.



Obr. 32 Vývojový diagram funkce pro ovládání komunikace protokolem MODBUS

## 6.3 Funkce pro ovládání a nastavení USART jednotky

Program pro ovládání UART komunikace je rozdělen na dvě funkce. První je označena jako `PC_COMM_USART_init`, která slouží k inicializaci USART jednotky. Druhá nese název `PC_COMM_USART_WRITE_LINE`, která už je určena pro samotné odesílání a přijímání dat po USART sběrnici.

### 6.3.1 Funkce pro inicializaci USART jednotky

V prvé řadě je nutno nastavit přenosovou rychlost USART jednotky. Ta se odvíjí od taktovací frekvence procesoru. V našem případě je baudová rychlost nastavena na hodnotu 115200 baudů.

```
// Výpočet hodnoty parametru BSEL = USARTC0_BAUDCTRLA a jeho nastavení
PC_COMM_USART_UNIT.BAUDCTRLA = F_CPU / (1*16*baud_rate);
```

V následujícím kroku je nutné definovat formát zprávy. Byl použit klasický formát zprávy 8N1, kdy máme 8 datových bitů, jeden stop bit a žádný paritní bit.

```
// Nastavení parametrů přenosu
PC_COMM_USART_UNIT.CTRLA = USART_CHSIZE_8BIT_gc;
```

Poslední krok v sobě zahrnuje povolení příjmu, povolení vysílání a parametrizaci pinů procesoru, na kterých je umístěna USART jednotka.

```
// Povolení příjmu a vysílání
PC_COMM_USART_UNIT.CTRLB = USART_TXEN_bm | USART_RXEN_bm;

// Parametrizace pinu vysílání (PC3)
PC_COMM_USART_PORT.DIRSET = PC_COMM_USART_TX_PIN;

// Parametrizace pinu pro příjem (PC2)
PC_COMM_USART_PORT.DIRCLR = PC_COMM_USART_RX_PIN
```

### 6.3.2 Funkce pro zápis dat na linku USART

Funkce pro zápis dat na linku USART je řešena jednoduchým způsobem pomocí cyklu *for*. V cyklu je zakomponována pomocná proměnná *i*, která je v počátku nastavena na hodnotu 0. Pomocí příkazu *strlen* je zjištěna délka odesílaného řetězce a funkce je vykonávána tak dlouho, dokud je parametr *i* menší, než je délka řetězce

```
void PC_COMM_USART_WRITE_LINE(char* sendText)
{
    for (int i = 0; i < strlen(sendText); i++)
    {
        while(!(PC_COMM_USART_UNIT.STATUS & USART_DREIF_bm));
        PC_COMM_USART_UNIT.DATA = sendText[i];
    }
}
```

## 6.4 Program a funkce pro ovládání modulu SIM800L

Program již tradičně začíná připojením knihoven a deklarací základních proměnných. V prvních kroku jsou nadefinovány přijímací a odesílací buferry, pole hodnot pro uložení telefonního čísla a SMS zprávy

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "EOB_SIM800L.h"
#include "PROCESS_VALUES.h"

#include "EOB_PC_COMM.h" // debug

// deklarace proměnných
volatile char SIM800_rx_buffer[800]; // přijímací buffer
volatile uint16_t SIM800_rx_buffer_pointer;

volatile uint8_t SIM800_TX_buffer[200]; // vysílací buffer

volatile uint8_t response_complete; // příznak doručení
// kompletní odpovědi
volatile uint8_t new_char_receive = 0;
volatile uint8_t rx_buff_overflow; // překročena velikost
// příjmového bufferu

volatile uint8_t tx_complete = 0; // příznak nastavován v
// přerušení odeslání bajtu

volatile char phone_num_for_SMS[15] = {};
volatile char SMS_text_for_send[100] = {};
```

Jelikož při kompilaci programu dochází k optimalizování programu, tudíž ke zjednodušení některých proměnných, tak bylo nutné zajistit, aby důležité proměnné zůstaly zachovány tak, jak byly zadány. K tomu se v programovacím jazyku C využilo slovo *volatile*, které zajistí, že se daná proměnná uloží do paměti programu tak, jak byla zapsána.

### 6.4.1 Funkce pro získání dat z modulu SIM800L

Aby všechny úlohy programu běžely hladce i v případě, kdy se např. po nějakém dotazu čeká na odpověď modulu SIM800L, tak jsou všechny požadavky na data z modulu seřazeny do fronty. Aktivují se tehdy, až se dokončí předchozí komunikační úlohy. Ke každému typu vykomunikovaných dat je přiřazen jednoznačný identifikátor. Tuhle operaci zajišťuje funkce s názvem *SIM800L\_COMM\_PLANING*.

```

volatile uint16_t code_of_communication = 0x01;
// proměná s kódem aktivní komunikace

void SIM800L_COMM_PLANING()
{
    uint8_t return_code_of_active_comm;
    // návratový kód aktivní komunikace

    switch (code_of_communication)
    {
        case 0x01:                                     // název operátora
        {
            return_code_of_active_comm=
                SIM800L_get_operator_id(&operator_name);
            SMS_send_allow = 0;
            break;
        }

        case 0x02:                                     // aktuální čas
                                                         modulu
        {
            return_code_of_active_comm =
                SIM800L_get_act_time(&gsm_time);
            SMS_send_allow = 0;
            break;
        }
    }
}

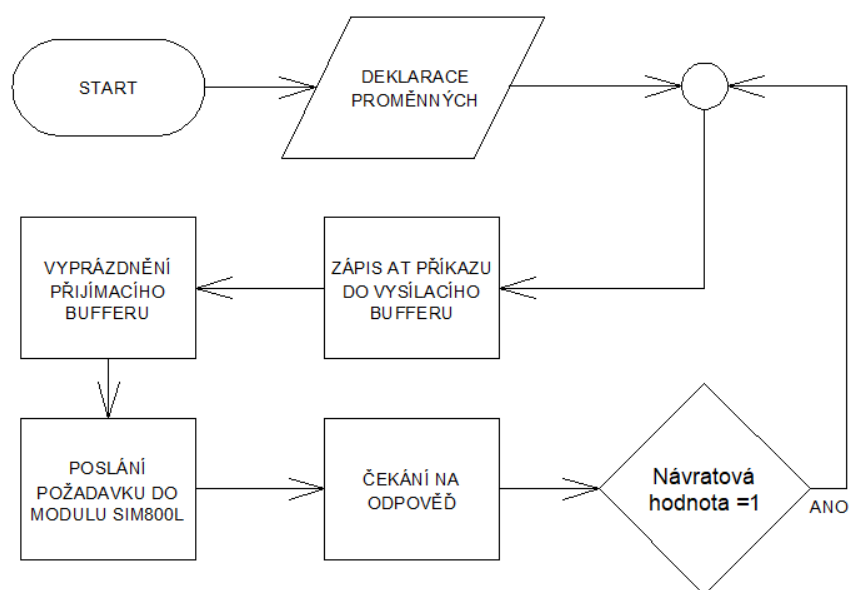
```

## 6.4.2 Funkce pro aktivování režimu odesílání SMS zpráv z modulu SIM800L

Funkce pro aktivování režimu pro odesílání SMS je označena pod názvem *SIM800L\_send\_SMS\_funct*. Parametry této funkce jsou telefonní číslo a text SMS zprávy.

Do vysílacího bufferu s názvem *SIM800\_TX\_buffer* je uložen AT příkaz *AT+CMGS=“+420 xxx xxx xxx“*, kde pozice s X jsou nahrazeny konkrétním telefonním číslem. Příkaz je následně odeslán do modulu. Následuje vyčištění přijímacího bufferu a čeká se na odpověď. Pokud je návratová hodnota funkce z příjmu zprávy modulu rovna jedné, je do vysílacího bufferu uložen opět stejný text s AT příkazem a znovu se provede zapsání zprávy do modulu SIM800L.

Podobným stylem jsou získávány další požadované informace z GSM modulu. Pomocí konkrétního AT příkazu je získán aktuální čas a informace o operátorovi.



Obr. 33 Vývojový diagram funkce pro aktivování režimu odesílání SMS zpráv

## 7 TESTOVÁNÍ PROTOTYPU

Pro účely otestování prototypu GSM brány pro PLC systémy byl zvolen systém Reliance. V prvních kapitolách je stručně popsán tento druh systému a jeho základní prostředí. Zbytek kapitoly je pak věnován popisu průběhu testování GSM brány pro PLC systémy.

### 7.1 Systém Reliance

Pro lepší názornost a odzkoušení vyvíjeného prototypu GSM brány pro PLC systémy byl využit profesionální HMI/SCADA systém Reliance. Tento systém je určený pro monitorování a ovládání průmyslových technologií. Data jsou získávána z řídicích nebo telemetrických systémů, ukládána do databází a prezentována koncovým uživatelům grafickou formou v podobě schémat, tabulek nebo grafů. [34]

Mezi nejdůležitější vlastnosti systému patří podpora skriptů, receptur, diagnostika, emaily a výměna dat s podnikovými informačními systémy. Další velkou výhodou systému Reliance je možnost přistupovat k vizualizaci systému pomocí webového prohlížeče nebo také z mobilního telefonu. [34]

Systém Reliance by se dal rozdělit do čtyř základních programů. Prvním z nich je Reliance Design. Jedná se o vývojové prostředí určené pro tvorbu a úpravu vizualizace projektu. V základní desktop verzi je možnost vytvořit aplikace typu „Jeden počítač – libovolné množství stanic“. Pod pojmem stanice si lze představit právě zmiňovaný PLC systém nebo např. nějakou telemetrickou stanici. [34]

Druhou variantou systému je RelianceView. Program umožňuje zobrazit vizualizační obrazovky s aktuálními daty, zobrazení kvitací (potvrzení) aktuálních alarmů apod. Program Reliance View je vybaven správou (diagnostikou) běžící aplikace, které se dá následně použít např. pro odhalení chyb v komunikaci. Reliance View neumí ovládat vizualizaci daného pracoviště. Slouží jen pro nahlížení pracoviště. [34]

Třetí variantou je Reliance Control. Ten má téměř stejné vlastnosti jako Reliance View, nicméně je rozšířen o ovládání vizualizačního prostředí. Z hlediska bezpečnosti lze ovládání omezit přístupovými právy na úrovni vizualizačního projektu. [34]

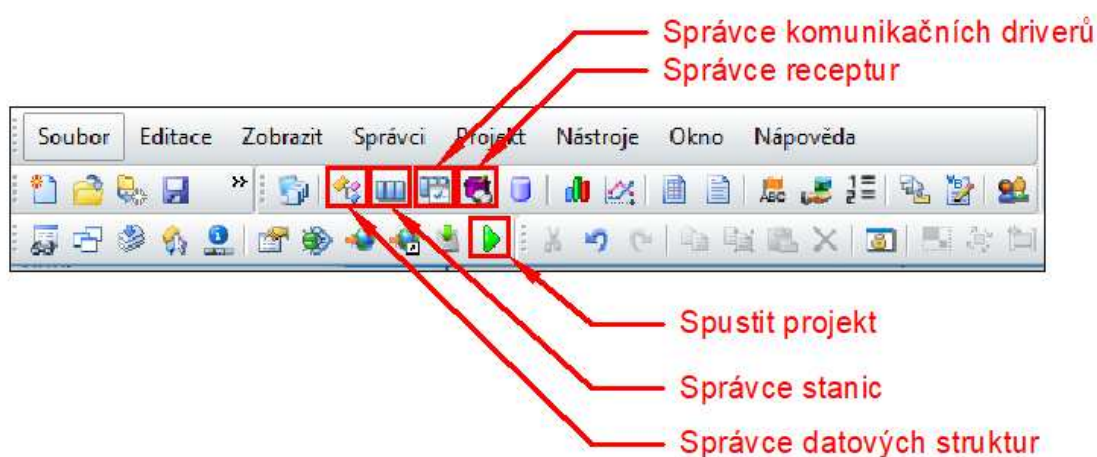
Čtvrtou nejrozšířenější variantou je Reliance Server. Program v sobě obsahuje zabudovaný webový server. Ten zajišťuje poskytování dat, vykonávání povelů přijatých od klientů a generování sestav na základě požadavků klientů. Program funguje jako služba Windows. Značnou nevýhodou Reliance Serveru je, že neumožňuje zobrazení vizualizačních obrazovek. Program slouží jako nevizuální datový koncentrátor nebo jako datový server. Tento typ programu se převážně využívá na pracovištích bez obsluhy. [34]

Pro účely otestování prototypu GSM brány pro PLC systémy byly použity jen dva programy, Reliance Designer a Reliance Control.



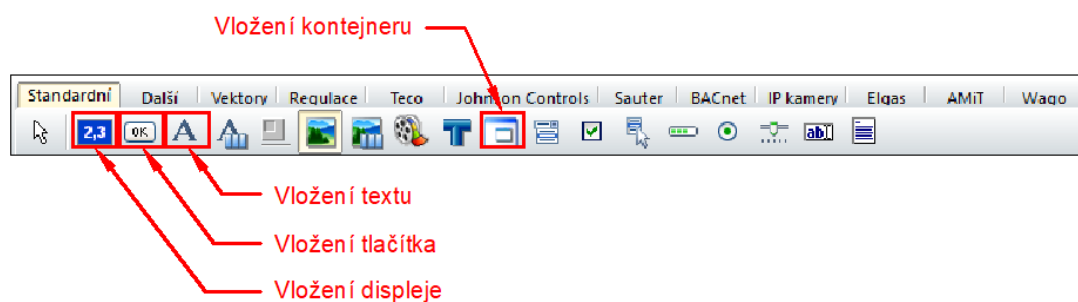
### 7.1.1 Základní popis vývojového prostředí Reliance Design

Celé prostředí je složeno z několika základních oken a přístrojových lišt. Nejzákladnější přístrojová lišta slouží ke spravování stanic, datových struktur, receptur a komunikačních driverů.



Obr. 34 Základní přístrojová lišta Reliance Design

Následující v pořadí je přístrojová lišta s možností vkládání základních zobrazovacích struktur. Jsou zde obsaženy možnosti vložení tlačítek, displejů, textů, obrázků apod. Jednou z nejdůležitějších funkcí na této liště je rozhodně položka s názvem „kontejner“. V něm se zobrazují informace o komunikaci. Zeleně jsou zobrazena přijatá data, fialově se zobrazují odesílaná data.



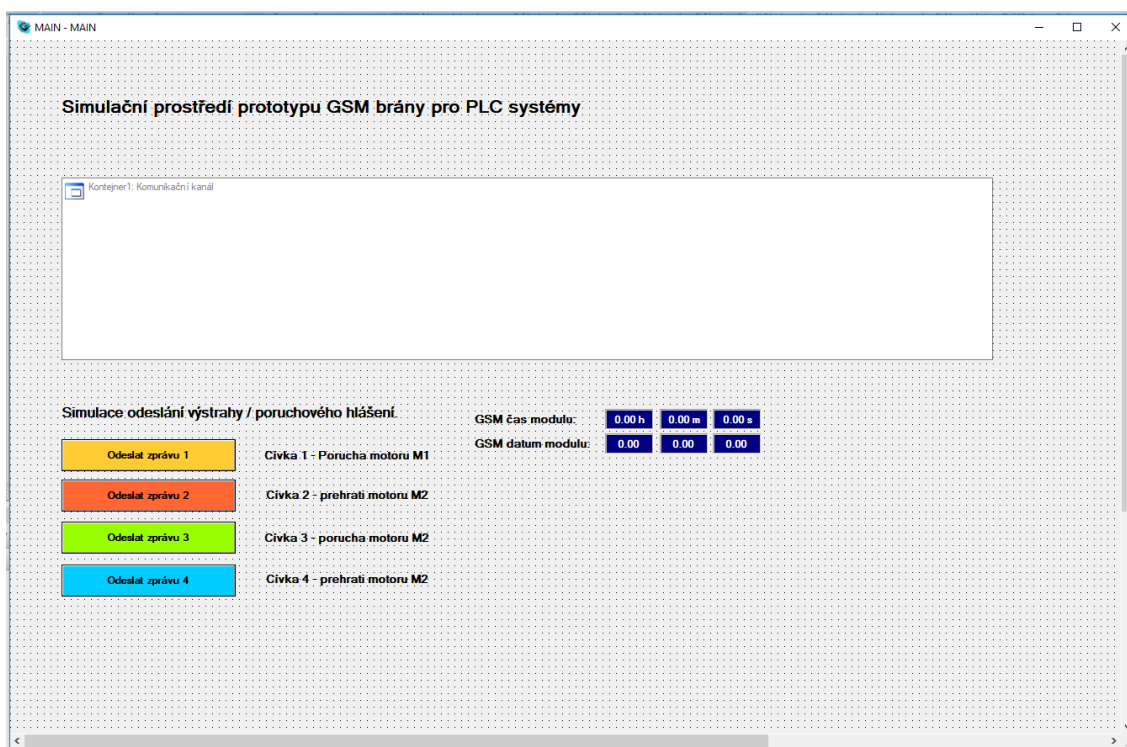
## 7.2 Vytvoření simulačního prostředí v Reliance Design

Pro potřeby otestování prototypu byla v simulačním prostředí Reliance Design navržena simulační vizualizační obrazovka. Při návrhu vizualizace byly převážně používány základní funkce popsané v kapitole 7.3.

Nejdůležitějším prvkem na vizualizační obrazovce je „kontejner“. Na něm lze pozorovat komunikaci probíhající po MODBUS protokolu. Můžeme v něm vidět proces vyčítání dat z jednotlivých holding registrů a proces kontroly změny na cívkách. Zelenou barvou je označen proces, kdy jsou z holding registrů a z cívek vyčítána data a fialovou barvou jsou zobrazeny změny na zvolených cívkách.

Právě zmíněné cívky jsou zde reprezentovány tlačítky s názvem odeslat zprávu. Pod touto simulací si lze představit např. situaci, kdy jsou na vybrané cívky přivedeny signály z motorů, čidel apod.

Dále se na vizualizační obrazovce nachází displeje pro zobrazení data a času.



Obr. 35 Vizualizační okno návrhu simulačního prostředí

Po vytvoření vizualizace bylo třeba nastavit patřičný způsob komunikace. Systém Reliance nabízí široké spektrum komunikačních protokolů. Pro potřeby simulace prototypu byl zvolen komunikační protokol MODBUS.

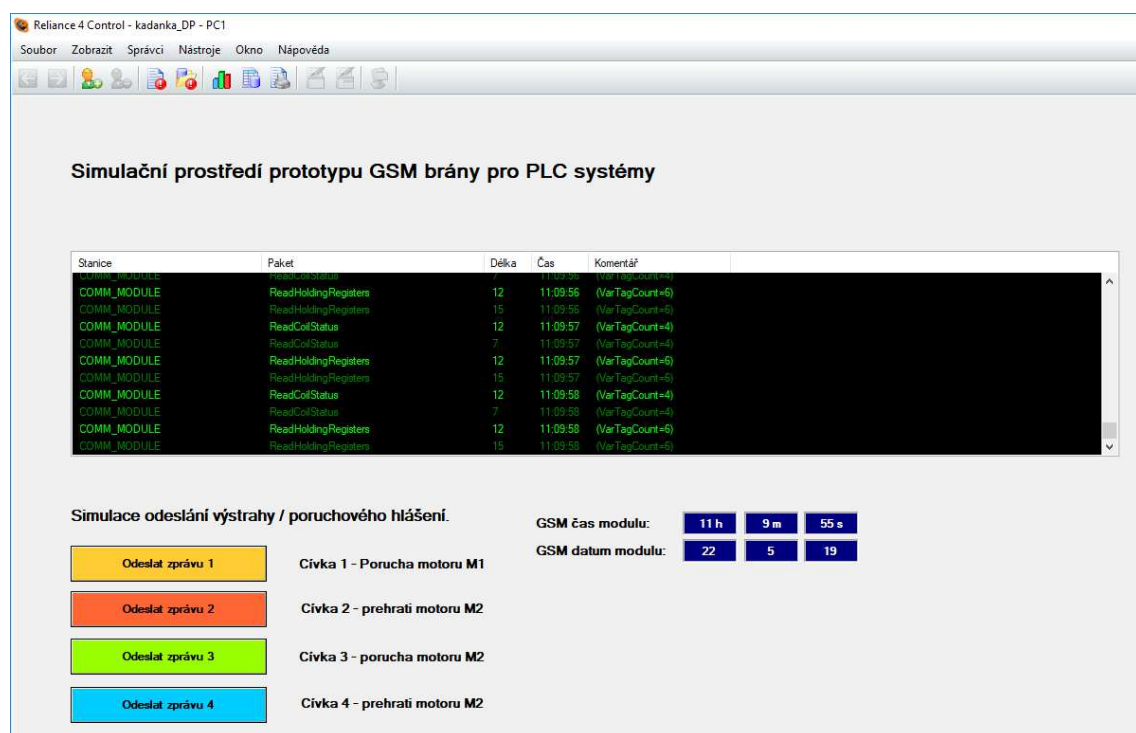
Dále bylo nutné nadefinovat proměnné pro zapisování dat a proměnné pro odesílání dat. Celkem je vytvořeno deset proměnných. Proměnné pro ukládání dat do holding registrů mají datový typ *Short Int*, což je celé číslo o velikosti 8 bitů.

Proměnné pro změnu stavu na cívkách jsou datového typu *bool*. Bool je v informatice logický datový typ, který je reprezentovaný dvěma hodnotami, pravda (logická 1) a nepravda (logická 0). Všechny proměnné pak byly uloženy na požadované adresy. Seznam proměnných a jejich adres je znázorněn v tabulce č. 9.

Tab. 9 Seznam proměnných v simulačním systému Reliance

Název proměnné	Typ proměnné	Adresa proměnné
GSM_TIME_HOUR	Short Int (8 b)	HR:0
GSM_TIME_MIN	Short Int (8 b)	HR:1
GSM_TIME_SEC	Short Int (8 b)	HR:2
GSM_TIME_DAY	Short Int (8 b)	HR:3
GSM_TIME_MONTH	Short Int (8 b)	HR:4
GSM_TIME_YEAR	Short Int (8 b)	HR:5
MESSAGE1	Bool	O:0
MESSAGE2	Bool	O:1
MESSAGE3	Bool	O:2
MESSAGE4	Bool	O:3

Na následujícím obrázku lze vidět již spuštěné vizualizační prostředí. Lze pozorovat proces čtení dat z holding registrů a čtení dat z cívek. Dále lze pozorovat případné změny na cívkách.



Obr. 36 Spuštěné simulační prostředí v systému Reliance

## 7.3 Obslužný uživatelský program GSM brány

Obslužný uživatelský program slouží k nastavení libovolné IP adresy zařízení, masky podsítě a IP adresy brány. Pro správnou komunikaci po lince USB je třeba nadefinovat připojení modulu. K tomu slouží oblast s názvem „Připojení k modulu“. Zde se nastaví požadovaný komunikační port, ke kterému je GSM brána připojena pomocí USB. Dále si zde lze také nadefinovat baudovou rychlost komunikace.

Samotná volba telefonních čísel a obsah stavového hlášení jsou obsaženy v dalších položkách. Lze zadat až čtyři různá telefonní čísla. Obsah odesílané zprávy na určená čísla je limitován velikostí 50 znaků.

Ve spodní části uživatelského programu je umístěno dialogové okno, které informuje uživatele o aktuálních situacích na sériové lince.

Obr. 37 Obslužný program GSM brány pro PLC systémy

## 7.4 Popis odzkoušení a testování prototypu

Prvním krokem je připojení napájecího napětí k prototypu. Napájecí napětí je v rozsahu 19 – 32 V DC. Na desce plošných spojů je umístěn i usměrňovač, takže lze stanici napájet střídavým napětím v rozsahu 19–32 V.

Následuje připojení ethernetového kabelu a propojovacího kabelu USB mezi počítačem a stanicí. Nejprve se musí zahájit komunikace mezi počítačem a GSM bránou. Zvolí se komunikační port a nastaví se baudová rychlost. Poté jsou definována požadovaná telefonní čísla a obsah stavových hlášení. Po zadání stavového hlášení je nutné kliknout na položku „Nastavit parametry zprávy“. Tím se nadefinované telefonní číslo a stavové hlášení uloží do EEPROM paměti procesoru. Pro prvotní kontrolu správného přihlášení GSM modulu do mobilní sítě je kolonka „Otestovat odeslání“. Kliknutím na tuto položku je zadaný text odeslán na definované telefonní číslo.

Na následujícím obrázku je již zobrazen nadefinovaný uživatelský program.

Obslužný program GSM brány

Bc. Karel Kadaňka  
Diplomová práce

Připojení k modulu  
Komunikační port: COM4  
Baudová rychlost: 19200  
Connect Disconnect

Nastavení TCP/IP komunikace  
IP adresa zařízení: 192.168.0.90  
Maska podsítě: 255.255.255.0  
IP adresa brány: 192.168.0.1  
Nastavit parametry

Zpráva č.1 (MODBUS čísla 1)  
Telefonní číslo: 737444385  
Obsah zprávy (max 50 znaků): Zpráva z kanálu číslo 1 - porucha motoru M1  
Nastavit parametry zprávy Načíst strukturu zprávy Otestovat odeslání

Zpráva č.2 (MODBUS čísla 2)  
Telefonní číslo: 737444385  
Obsah zprávy (max 50 znaků): Zpráva z kanálu číslo 2 - prehrati Motoru M1  
Nastavit parametry zprávy Načíst strukturu zprávy Otestovat odeslání

Zpráva č.3 (MODBUS čísla 3)  
Telefonní číslo: 737444385  
Obsah zprávy (max 50 znaků): Zpráva z kanálu číslo 3 - porucha motoru M2  
Nastavit parametry zprávy Načíst strukturu zprávy Otestovat odeslání

Zpráva č.4 (MODBUS čísla 4)  
Telefonní číslo: 737444385  
Obsah zprávy (max 50 znaků): Zpráva z kanálu číslo 4 - prehrati motoru M2  
Nastavit parametry zprávy Načíst strukturu zprávy Otestovat odeslání

Čas záznamu	Zpráva
21.05.2019 22:30:18, 926	Úspěšné připojení ke stanici
21.05.2019 22:30:40, 237	Načtení obsahu parametrizace zprávy č.: 1 úspěšně provedeno
21.05.2019 22:30:40, 432	Načtení obsahu parametrizace zprávy č.: 2 úspěšně provedeno
21.05.2019 22:30:40, 622	Načtení obsahu parametrizace zprávy č.: 3 úspěšně provedeno
21.05.2019 22:30:40, 811	Načtení obsahu parametrizace zprávy č.: 4 úspěšně provedeno
21.05.2019 22:30:40, 815	Úspěšné připojení ke stanici
21.05.2019 22:32:04, 42	Provedeno testovací odeslání zprávy č.: 3

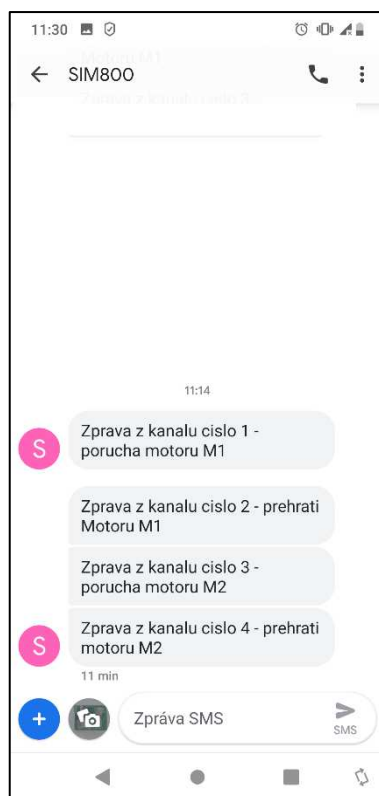
Obr. 38 Nadefinovaný obslužný program GSM brány

Nyní se lze přesunout do programu Reliance Control. Připojení GSM modulu do mobilní sítě chvíli trvá, ale hned po jeho přihlášení dojde k načtení a zobrazení dat a času. V kontejneru lze pozorovat průběh komunikace protokolem MODBUS.

Když teď klikneme na tlačítko „Odeslat zprávu 1“, tak program vyhodnotí, že došlo ke změně parametru na cívce 1. V našem případě se jedná o simulovaný stav, kdy došlo k poruše motoru M1. Fyzicky by se tento stav dal reprezentovat např. zapůsobením motorové ochrany motoru. Následně je odeslána SMS zpráva se stavovým hlášením, které bylo navoleno v obslužném programu.

Obdobným způsobem se otestuje cívka 2, kterou v tuto chvíli reprezentuje tlačítko „Odeslat zprávu 2“. Zde bylo stavové hlášení nadefinováno jako překročení teploty motoru M1. Zde by se tento stav dal fyzicky reprezentovat např. nějakým čidlem pro měření teploty.

Na následujícím obrázku je zobrazen screenshot z displeje mobilního telefonu, na kterém jsou zobrazeny stavové hlášení z jednotlivých cívek.



Obr. 39 Screenshot obrazovky mobilního telefonu se stavovým hlášením

## 8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout první prototyp komunikačního modulu pro účely průmyslové automatizace, který bude schopen prostřednictvím GSM sítě předávat krátké stavové zprávy informující o stavu připojeného zařízení v síti ETHERNET pomocí protokolu MODBUS.

Diplomová práce je tematicky rozdělena do sedmi celků. První kapitola se věnuje popisu programovatelných automatů, síťovému modelu TCP/IP a komunikačnímu protokolu MODBUS. Druhá kapitola se zabývá průzkumem trhu. Definuje rozdělení GSM zařízení do různých typů, a na konci je odůvodněn plánovaný vývoj nového prototypu zařízení. Ve třetí kapitole jsou již popsány jednotlivé prvky vyvíjeného zařízení. Komunikační moduly byly vybrány z komerčně dostupných modulů na trhu. Za hlavní řídicí jednotku byl zvolen procesor ATXMEGA 128D3 od firmy Atmel. Pro komunikaci po síti ETHERNET prostřednictvím protokolu MODBUS je použit modul ETH WIZ click a komunikace po GSM síti je zajištěna modulem SIM800L.

Čtvrtý tematický celek je věnován popisu návrhu napájecí části prototypu. Bylo třeba vytvořit dvě samostatné napájecí větve o dvou různých hodnotách napětí. První větev má jako výstupní napětí hodnotu 3,3 V a je určena pro distribuci energie do procesoru, jeho pomocných obvodů a také pro napájení ethernetového modulu. Druhá napájecí větev je určena pro distribuci energie pouze pro komunikační modul SIM800L. Modul ke svému provozu potřebuje napájecí napětí 4 V. Navíc v době přihlašování do sítě GSM může jeho proudový odběr dosahovat hodnoty až 2 A. Z toho důvodu byl jako hlavní prvek druhé napájecí větve zvolen DC měnič snižující napětí s typovým označením LM2596-ADJ, který je schopen na svém výstupu spínat proud o velikosti až 3 A, a také umožňuje pomocí zpětnovazební smyčky nastavit požadovanou hodnotu výstupního napětí. Stejný druh měniče je taktéž zvolen i pro první napájecí okruh, ale byl vybrán jiný model s typovým označením LM2596-3,3, který má na výstupních svorkách napětí 3,3 V. Při volbě externích komponent bylo postupováno dle doporučení výrobce měničů. Pro kontrolu návrhu byly obě napájecí části ověřeny v programu Webech Power Designer od firmy Texas Instruments.

V následující kapitole je popsáno konstrukční řešení prototypu GSM brány. Základní požadavek byl umístit hardware komunikační stanice do krabice, kterou bude možné v rozvaděči připevnit na DIN lištu. K tomuto účelu posloužila konstrukční krabice s typovým označením D4MG.

Předposlední kapitola se věnuje popisu programu prototypu GSM brány. Je v ní popsán základní program a důležité podprogramy a funkce. Program prototypu byl napsán v programovacím jazyce C.

V posledním tematickém celku je popsán průběh testování prototypu. Pro lepší názornost byl pro testování prototypu zvolen systém Reliance. V něm je vytvořeno simulační prostředí PLC systému a nasimulována komunikace protokolem MODBUS.

V původním návrhu prototypu měl být umístěn FTDI převodník s čipem FT232 BL. Nicméně se navrženou desku plošných spojů nepodařilo z neznámých důvodů zprovoznit, a proto byl tento převodník nahrazen komerčně dostupným převodníkem.

# LITERATURA

- [1] VOJÁČEK, Antonín. Automatizace.hw.cz [online]. 6. srpen 2007 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-se-skryva-pod-oznaceni-plc>
- [2] ZIMMERMAN, Luděk. Profielektrika.cz [online]. 27.1.2011. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/co-to-je-plc-a-k-cemu>
- [3] Powerakademy.com [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [http://i0.wp.com/abacus-automation.co.za/wp-content/uploads/2015/12/S7-1500\\_500.jpg?quality=80&strip=all](http://i0.wp.com/abacus-automation.co.za/wp-content/uploads/2015/12/S7-1500_500.jpg?quality=80&strip=all)
- [4] Mobilmania.cz [online]. 11. srpen 2001 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/chcete-vedet-jak-funguje-mobilni-sit/sc-3-a-1100650/default.aspx>
- [5] Architektura GSM sítě. Vyvoj.hw.cz [online]. 23. únor 2003 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/architektura-gsm-site.html>
- [6] PROKEŠ, prof. Ing. Aleš. Komunikační systémy (BKSY): Přednášková skript. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně, 2014.
- [7] PETERKA, Jiří. Síťový model TCP/IP: Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a231c110.php3>
- [8] Sada protokolů TCP/IP [online]. 2012 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: [https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/6413/mod\\_resource/content/1/tcpip.pdf](https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/6413/mod_resource/content/1/tcpip.pdf)
- [9] TCP/IP [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: [http://www.ped.muni.cz/wtech/03\\_studium/teps/teps-03.pdf](http://www.ped.muni.cz/wtech/03_studium/teps/teps-03.pdf)
- [10] IP - Internetový protokol (Internet Protocol). Managementmania [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/internetovy-protokol-ip>
- [11] KOUTNÝ. [online]. Fakulta aplikovaných věd západočeské univerzity v Plzni [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://www.kiv.zcu.cz/~txkoutny/download/javanet.pdf>
- [12] RONEŠOVÁ, Ing. Andrea. Přehled protokolu MODBUS [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2005 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. MODBUS. Automatizace.hw: Rady a poslední novinky z oboru [online]. 7. červenec 2004 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2004070701>
- [14] ELDES GATE CONTROLLER ESIM120/ESIM320/ESIM320US [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://eldesalarms.com/wp-content/uploads/2016/09/ESIM320-user-manual-2016-05-11.pdf>



- [15] GSM hlásič iQ GSM-A1: Návod [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [https://www.tfe.cz/www/data/product\\_documentation/4/4.pdf](https://www.tfe.cz/www/data/product_documentation/4/4.pdf)
- [16] GSM dálková signalizace / pager iQ GSM-A1. Www.tfe.cz [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.tfe.cz/gsm-dalkova-signalizace-pager-igsm-a1.htm>
- [17] Komunikátor CA5, CA6 a programovatelné automaty MCA45, MCA46 [online]. Micropel [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [http://www.micropel.cz/images/stories/Dokumenty/ca5\\_ca6\\_mca45\\_mca46\\_techlist.pdf](http://www.micropel.cz/images/stories/Dokumenty/ca5_ca6_mca45_mca46_techlist.pdf)
- [18] UC-1205. Tecomat.com [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.tecomat.com/Products/cz/komunikacni-moduly-univerzalni/gsm-gprs-3g/175-uc-1205/>
- [19] GSM modul UC-1205 [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [https://www.tecomat.com/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv11205\\_00\\_foxtrot\\_uc-1205\\_cz\\_en](https://www.tecomat.com/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv11205_00_foxtrot_uc-1205_cz_en)
- [20] Atmel 8/16-bit XMEGA A1 Microcontroller: User guide [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8067-8-and-16-bit-AVR-Microcontrollers-ATxmega64A1-ATxmega128A1\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8067-8-and-16-bit-AVR-Microcontrollers-ATxmega64A1-ATxmega128A1_Datasheet.pdf)
- [21] User guide W5500 [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: [http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500\\_ds\\_v106e\\_141230.pdf](http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500_ds_v106e_141230.pdf)
- [22] Mikroelektronika [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://www.mikroe.com/eth-wiz-click>
- [23] ROOT.cz [online]. [cit. 2017-05-Ň6]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [24] SIM800 Hardware Design V1.09 [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [http://www.mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim800\\_hardware\\_design\\_v1.09.pdf](http://www.mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim800_hardware_design_v1.09.pdf)
- [25] Serial Communication. Learn.sparkfun.com [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>
- [26] FRÝZA, Tomáš. Řízení sériové komunikace, Přednáška 7: Mikroprocesorová technika a embedded systémy [online]. 2016 [cit. 2019-01-07].
- [27] Jak jednoduše na GSM - II.díl - základní AT příkazy a HW. *Arduinotech.cz* [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.arduinotech.cz/inpage/jak-jednoduse-na-gsm-ii-dil-at-prikazy/>
- [28] AT příkazy. Pf.jcu.cz [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/SERYM/principy/mmedia/AT.html>

- [29] AT příkazy [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.smart-con.cz/wp-content/uploads/2018/08/AT-p%C5%99%C3%ADkazy.pdf>
- [30] LOR4301-2 Datasheet [online]. 2015 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/01e5/0900766b801e57e0.pdf>
- [31] LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator: User guide [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [32] GM ELECTRONIC [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/prevodnik-usb-uart-reset-pin>
- [33] EVITA Electronic Components [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.evita.lt/en/x-d4mg-abs-plastiko-moduline-dezute-begeliui-d4mg-71x90-2x57-5-mm>
- [34] Reliance 4: Vývojové prostředí [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://www.reliance-scada.com/files-to-download/documentation/reliance4/Design\\_CSX.pdf](https://www.reliance-scada.com/files-to-download/documentation/reliance4/Design_CSX.pdf)

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

PLC	Programmable Logic Controller	programovatelný logický automat
I/O	Input/Output	vstupně/výstupní, např modul
GSM	Global System for Mobile Communications	
BTS	Base Transceiver Station	Základnová stanice
TCP	Transmission Control Protocol	přenosový protokol
IP	Internet Protocol	internetový protokol
ISO	International Organization for Standardization	
OSI	Open Systems Interconnection	
PDU	Protocol Data Unit	zpráva protokolu modbus
ADU	Application Data Unit	rozšířená zpráva protokolu modbus
NO	Normally Open	spínací kontakt
NC	Normally Closed	rozpínací kontakt
SMS	Short Message Service	textová zpráva
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter	
USART	Universal synchronous and asynchronous receiver-transmitter	
USB	Universal serial bus	
SPI	Serial Peripheral Interface	
MOSI	Master Out Slave In	
MISO	Master In Slave Out	
SS	Slave select	
SCK	Clock	
MSB	Most significant bit	nejvýznamnější bit
LSB	Least significant bit	nejméně významný bit
Tx	Transceiver	vysílací data
Rx	Receiver	přijímací data

**Veličiny:**

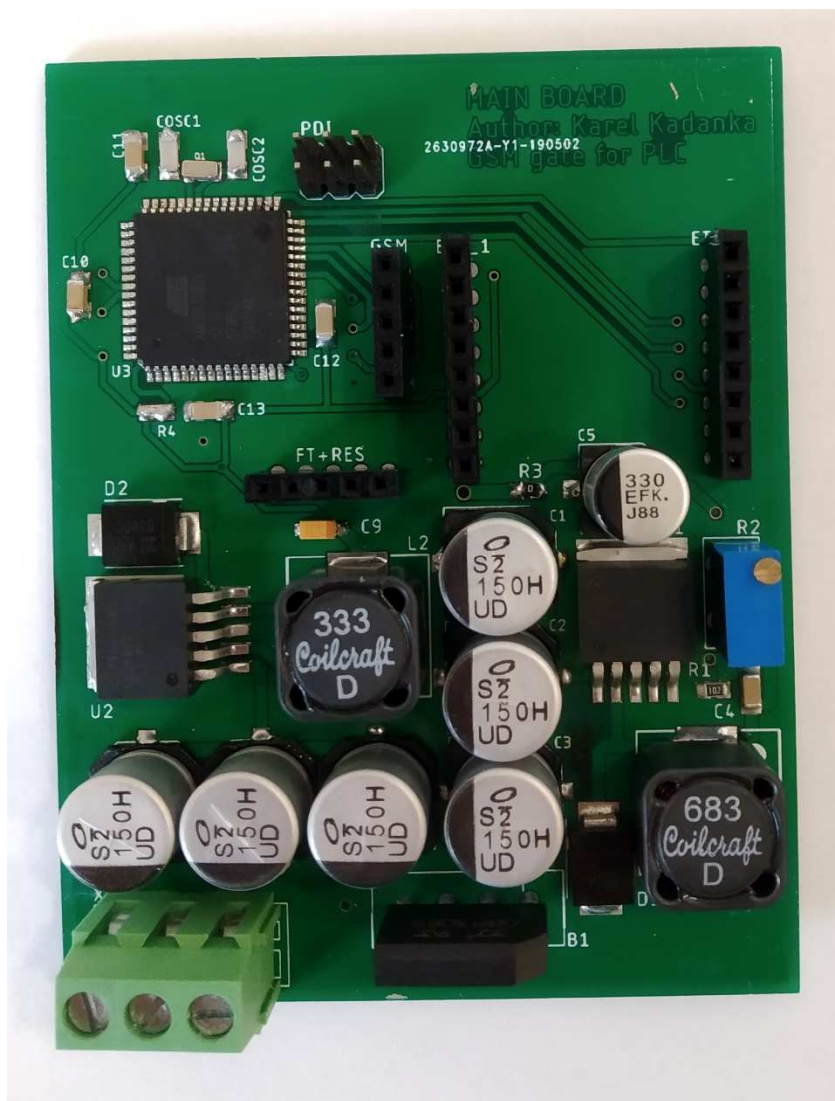
M	Mega	mocnina $10^6$
Hz	Hertz	jednotka frekvence
m	mili	mocnina $10^{-3}$
s	sekunda	jednotka času
U	napětí	[V]
I	proud	[A]
m	metr	jednotka délky
C	Celsius	jednotka teploty
B	Byte	bajt
b	bit	bit

# Seznam příloh

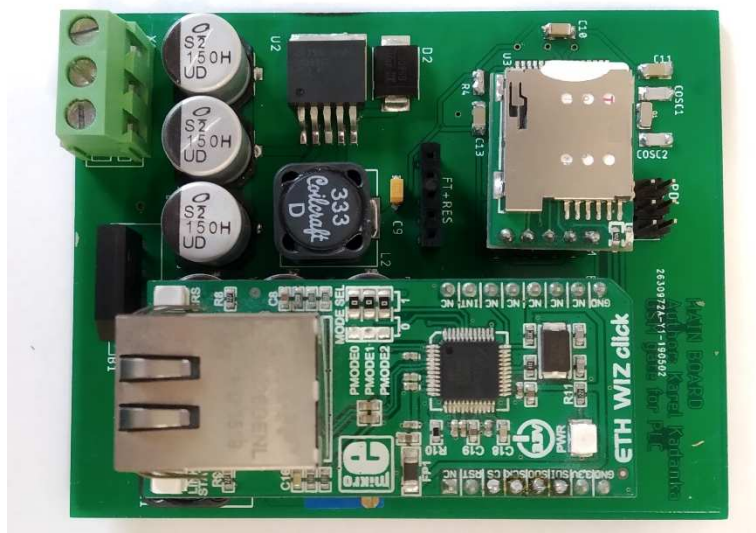
<b>A. Fotodokumentace</b>	<b>58</b>
A1    Osazená deska plošných spojů – Main board	58
A2    Osazená deska plošných spojů s kom. Moduly	59
<b>B. Schéma zapojení</b>	<b>60</b>
B1    Schéma zapojení DPS Main board – napájecí část	60
B2    Schéma zapojení DPS Main board – sig. část	61
B3    Schéma zapojení DPS – FT232 board	62
B4    Schéma zapojení DPS – Face board	63
<b>C. Návrh DPS</b>	<b>64</b>
C1    DPS Main board – strana TOP	65
C2    DPS Main board – strana BOTTON	66
C3    Osazovací plán Main board – strana TOP	66
C4    Osazovací plán Main board – strana BOTTON	67
C5    DPS FT232 board – strana TOP	67
C6    DPS FT232 board – strana BOTTON	68
C7    Osazovací plán FT232 board – strana TOP	68
C8    Osazovací plán FT232 board – strana BOTTON	69
C9    DPS Face board – strana TOP	69
C10   Osazovací plán Face board – strana TOP	70
<b>D. Seznam součástek</b>	<b>71</b>
D1    Seznam součástek Main board	71
D2    Seznam součástek FT232 board	72
D3    Seznam součástek Face board	72

## A. FOTODOKUMENTACE

### A1 Osazená deska plošných spojů - Main board

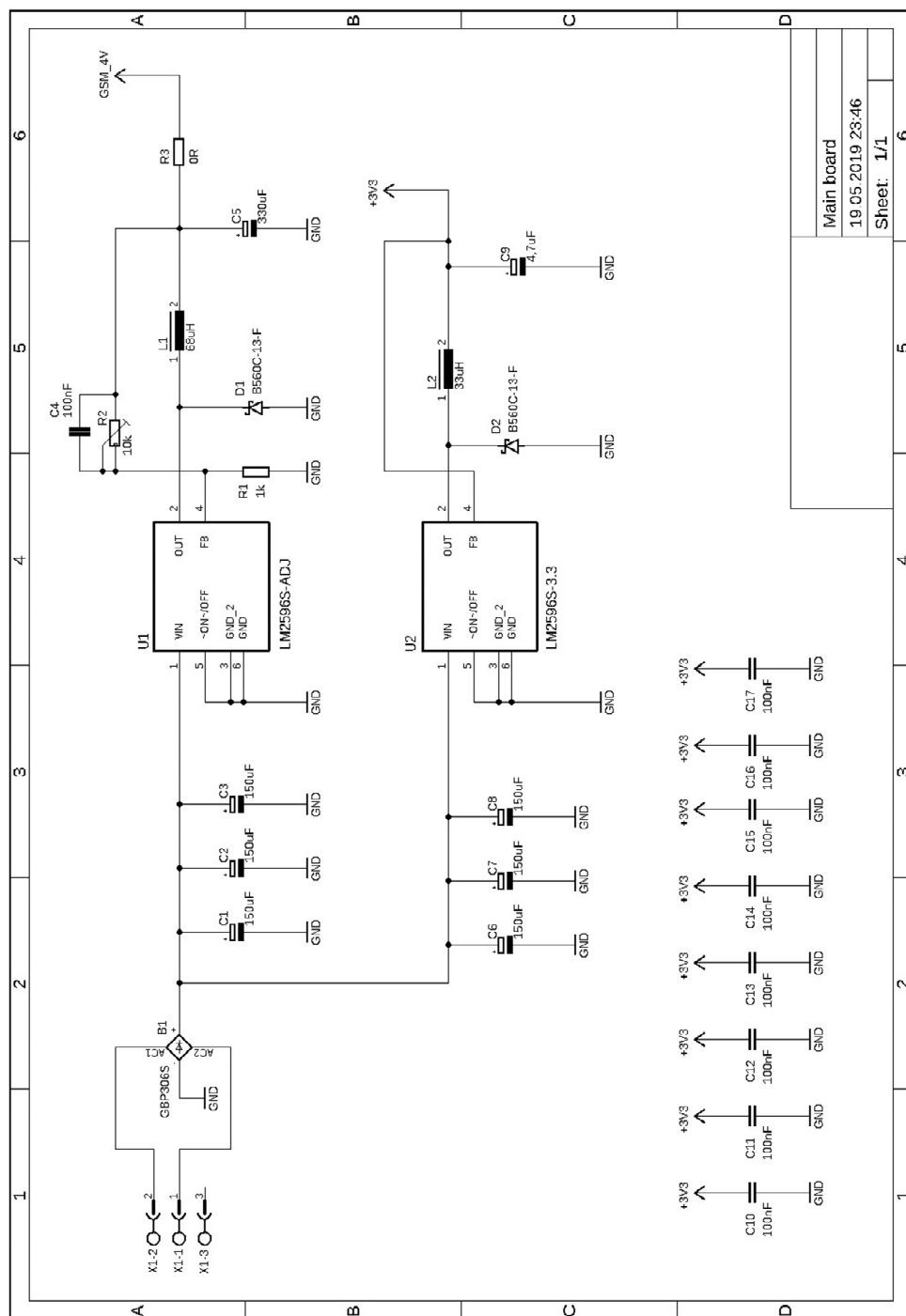


## A2 Osazená deska plošných spojů s komunikačními moduly



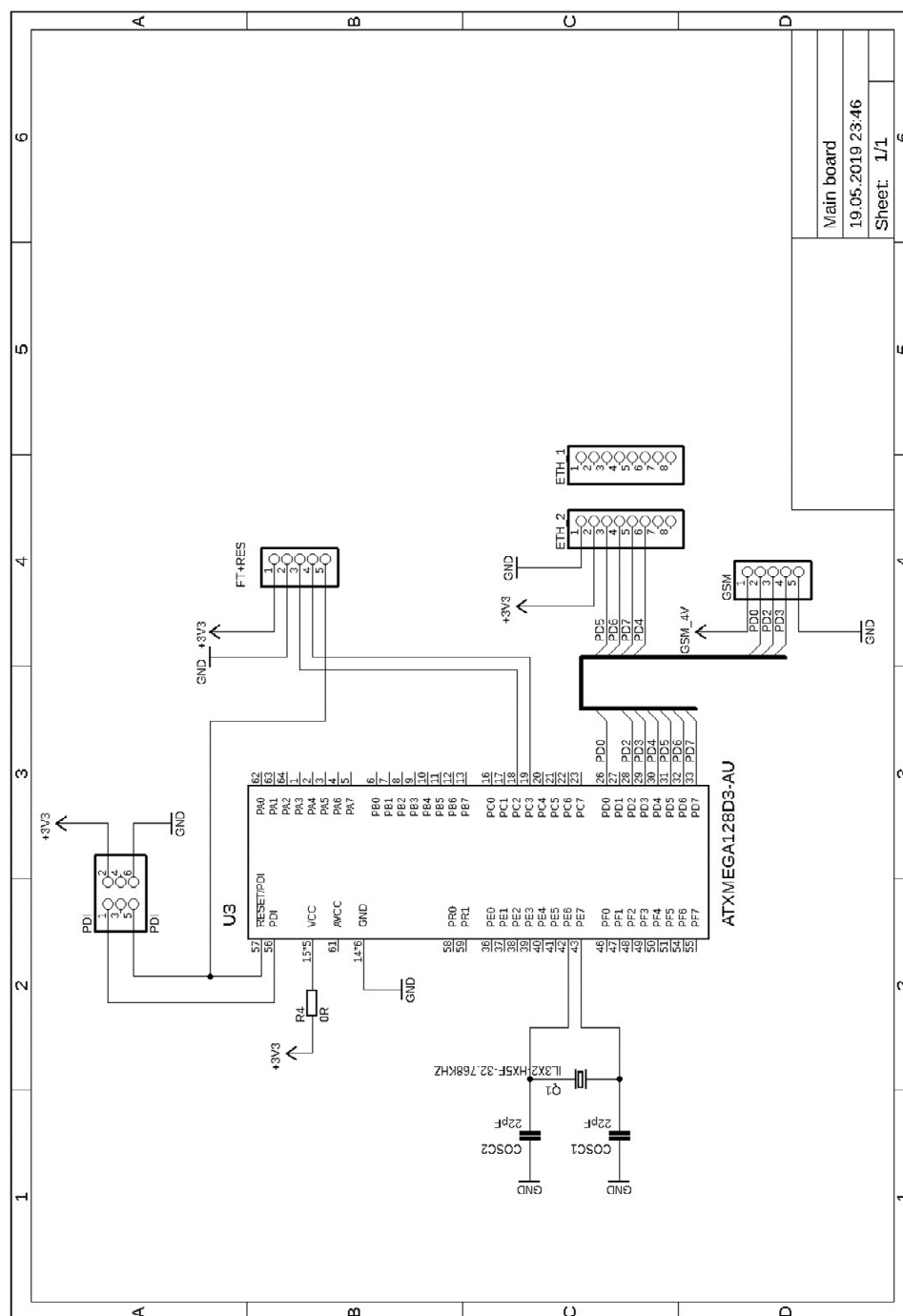
## B. SCHÉMA ZAPOJENÍ

### B1 Schéma zapojení DPS Main board – napájecí část

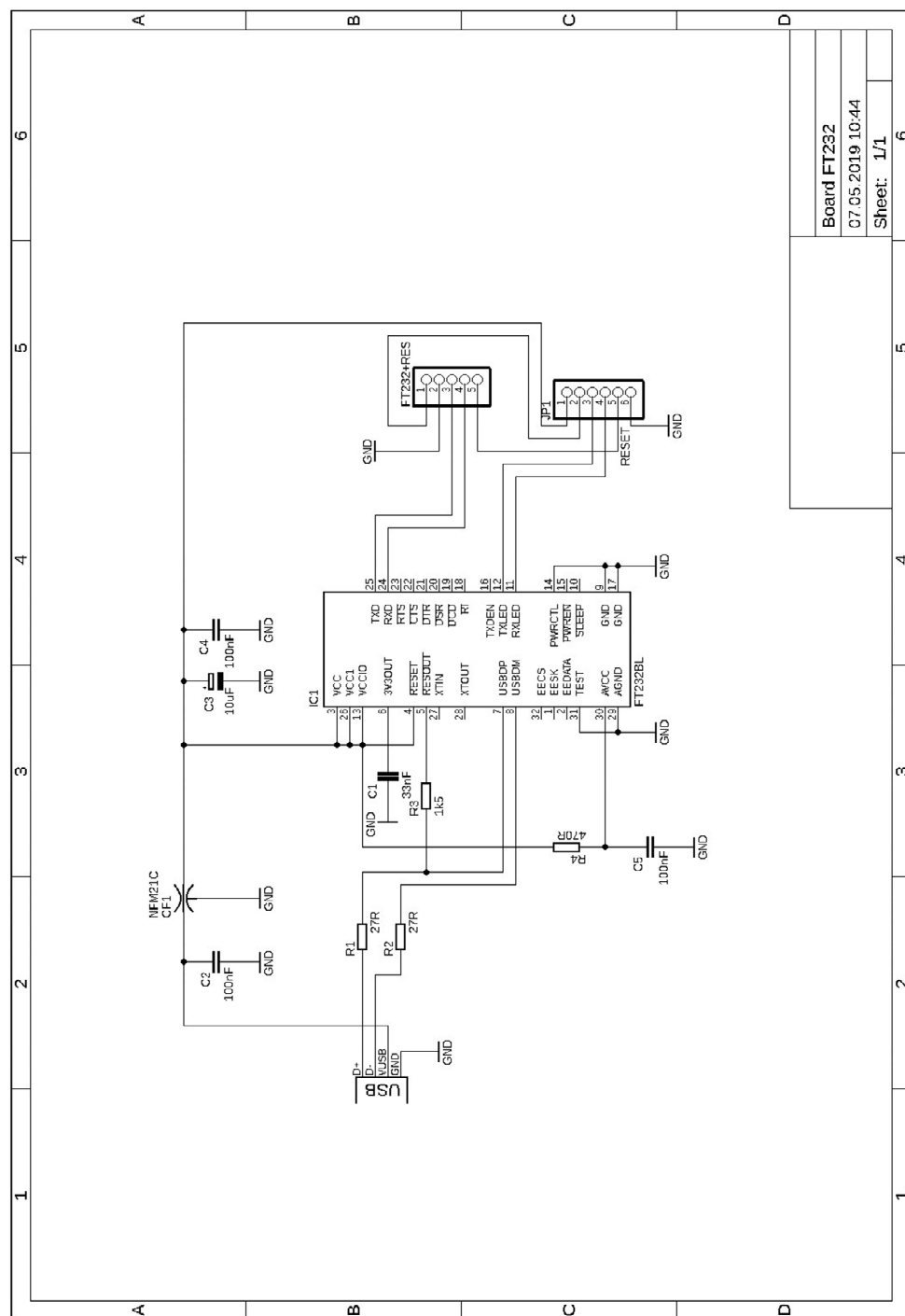




## B2 Schéma zapojení DPS Main board – signálová část



## B3 Schéma zapojení DPS – FT232

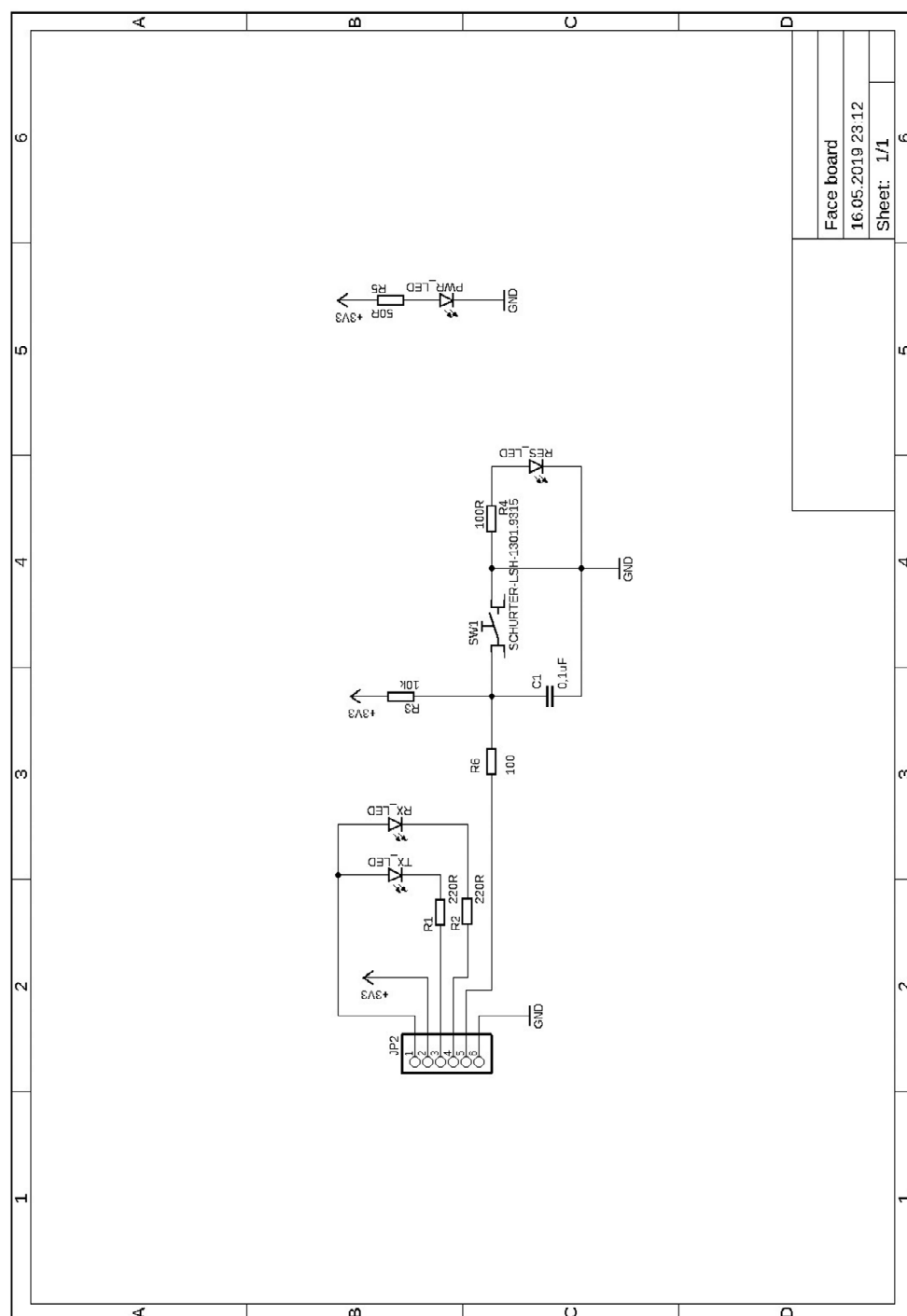


Board FT232

07 05 2019 10:44

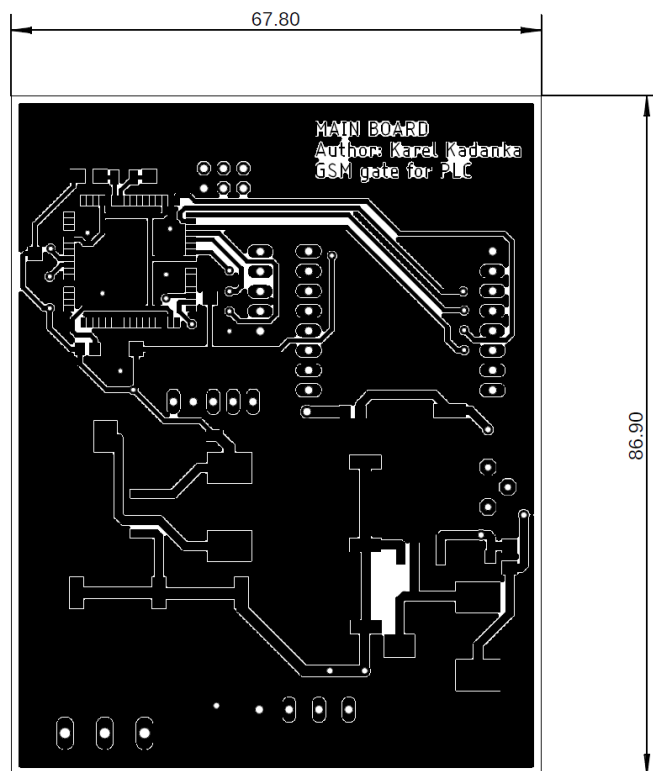
Sheet: 1/1

## B4 Schéma zapojení DPS – Face board

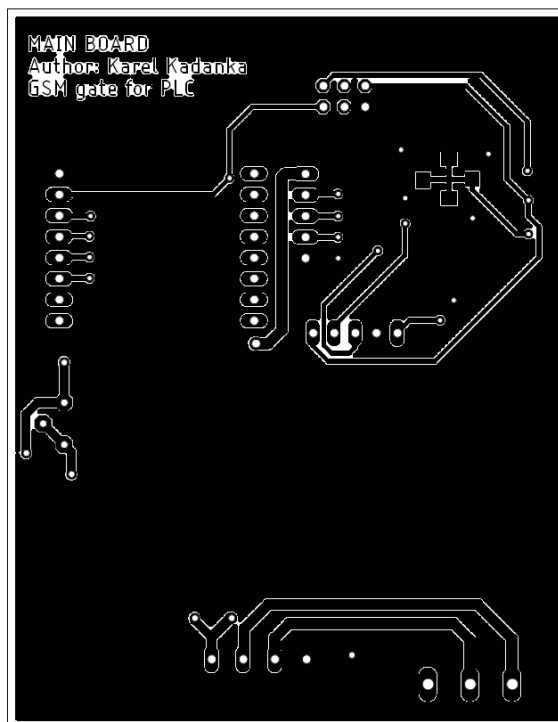


## C. NÁVRH DPS

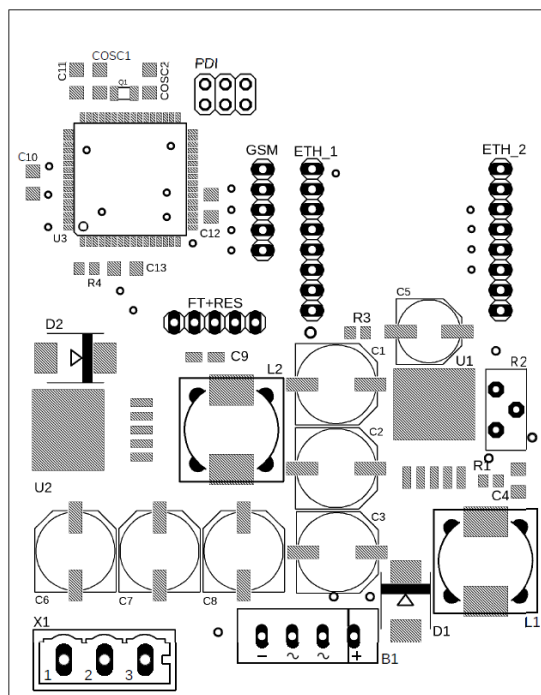
### C1 DPS Main board – strana TOP



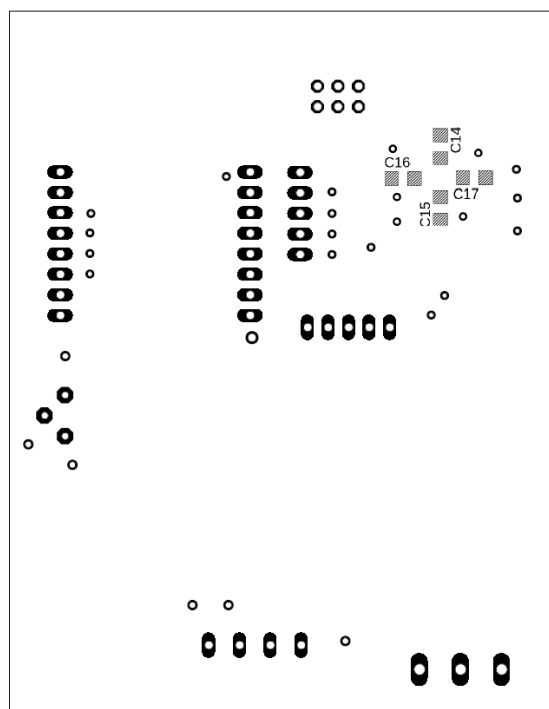
## C2 DPS Main board – strana BOTTON



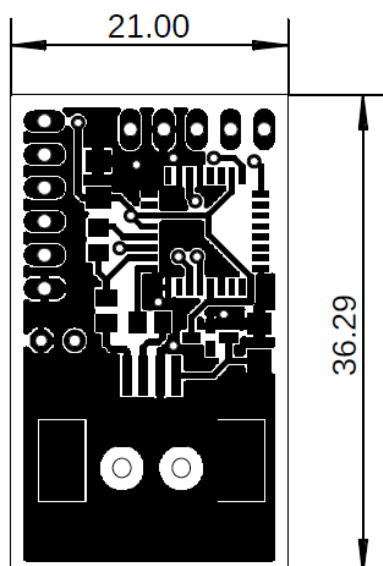
## C3 Osazovací plán Main board – strana TOP



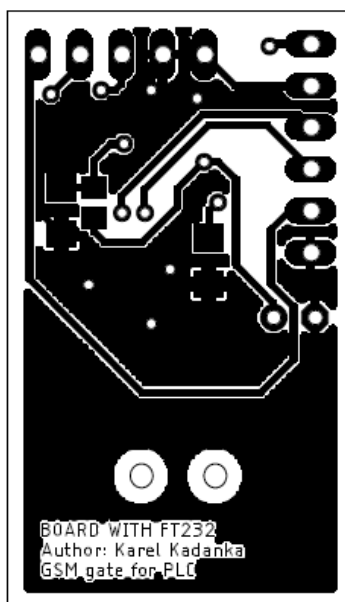
#### C4 Osazovací plán Main board – strana BOTTON



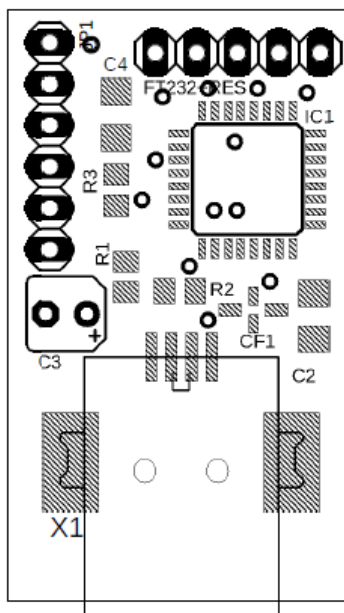
#### C5 DPS FT232 board– strana TOP



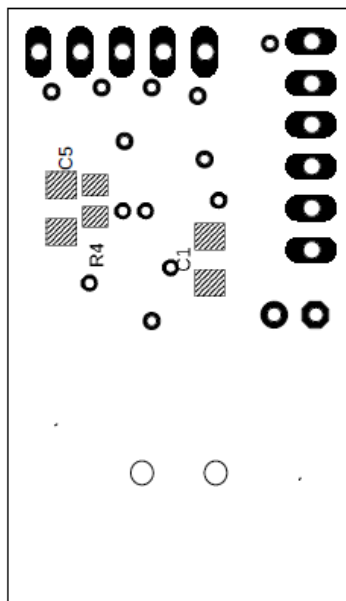
## C6 DPS FT232 board– strana BOTTON



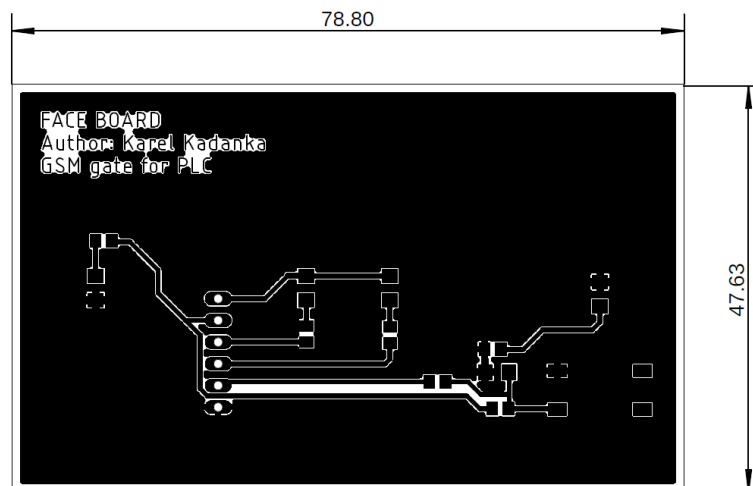
## C7 Osazovací plán FT232 board – strana TOP



## C8 Osazovací plán FT232 board – strana BOTTON

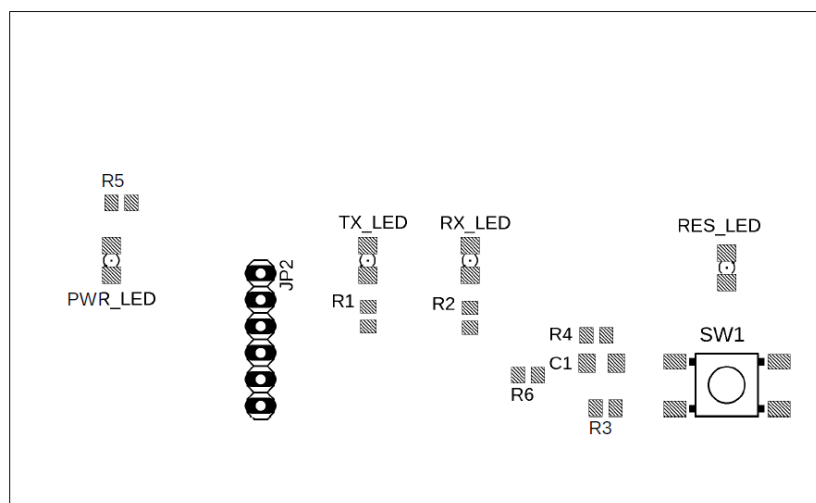


## C9 DPS Face board– strana TOP





## C10 Osazovací plán Face board – strana TOP



## D. SEZNAM SOUČÁSTEK

### D1 Seznam součástek DPS Main board

Označení	Hodnota	Počet	Pouzdro
B1	GBP306S	1	2KBP
C1	150uF	1	PANASONIC_G
C2	150uF	1	PANASONIC_G
C3	150uF	1	PANASONIC_G
C4	1,5nF	1	C1206
C5	330uF	1	PANASONIC_F
C6	150uF	1	PANASONIC_G
C7	150uF	1	PANASONIC_G
C8	150uF	1	PANASONIC_G
C9	4,7uF	1	CT3216
C10	100nF	1	C1206
C11	100nF	1	C1206
C12	100nF	1	C1206
C13	100nF	1	C1206
C14	100nF	1	C1206
C15	100nF	1	C1206
C16	100nF	1	C1206
C17	100nF	1	C1206
COSC1	22pF	1	C1206
COSC2	22pF	1	C1206
D1	B560C-13-F	1	SMC
D2	B560C-13-F	1	SMC
ETH_1		1	1X08
ETH_2		1	1X08
FT+RES		1	1X05
GSM		1	1X05
L1	330uH	1	DR127
L2	33uH	1	DR127
PDI	PDI	1	2X03
Q1	32.768KHZ	1	3.2X1.5
R1	1k	1	R0805
R2	10k	1	64Y
R3	0R	1	R0805
R4	0R	1	R0805
U1	LM2596S-3,3	1	TO170P1435X465-6N
U2	LM2596S-ADJ	1	TO170P1435X465-6N
U3	ATXMEGA128D3-AU	1	TQFP-64A-64
X1			W232-3

## D2 Seznam součástek FT232 board

Označení	Hodnota	Počet	Pouzdro
C1	33nF	1	C1206
C2	100nF	1	C1206
C3	10uF	1	B45181A
C4	100nF	1	C1206
C5	100nF	1	C1206
CF1	NFM21C	1	NFM21C
FT232+RES		1	1X05
IC1	FT232BL	1	LQFP32-7X7
JP1		1	1X06
R1	27R	1	R0805
R2	27R	1	R0805
R3	1k5	1	R0805
R4	470R	1	R0805
X1	USB-B-S	1	USB-B-SMT

## D3 Seznam součástek Face board

Označení	Hodnota	Počet	Pouzdro
C1	0,1uF	1	C1206
JP2		1	1X06
PWR_LED		1	1206
R1	220R	1	R0805
R2	220R	1	R0805
R3	10k	1	R0805
R4	100R	1	R0805
R5	50R	1	R0805
R6	100	1	R0805
RES_LED		1	1206
RX_LED		1	1206
SW1	SCHURTER-LSH-130	1	LSH
TX_LED		1	1206
		1	